

KOREAN PATENT ABSTRACTS

(11)Publication number: 1020000033006 A  
(43)Date of publication of application: 15.06.2000

(21)Application number: 1019980049658  
(22)Date of filing: 19.11.1998

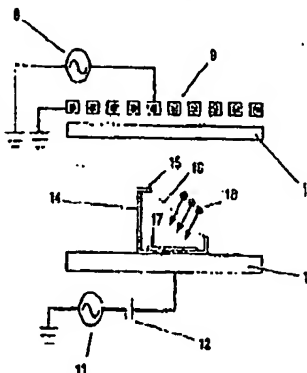
(71)Applicant: HEOMIZ CO., LTD.  
(72)Inventor: CHO, BYEONG OK  
MUN, SANG HEUP

(51)Int. Cl. H01L 21 /3065

(54) METHOD FOR PLASMA ETCHING COMPARTMENT SURFACE OF UPPER SIDE OF FARADAY CAGE

(57) Abstract:

PURPOSE: A method for plasma etching a compartment surface of an upper side of a faraday cage is provided to attain an etched plane with various shapes by changing the direction of etching, and to etch a board uniformly by distracting or concentrating the ion flux.  
CONSTITUTION: A method for plasma etching a compartment surface of an upper side of a faraday cage(14) includes first thru third steps. At the first step, a faraday cage(14) is deposited in an apparatus for plasma etching. At the second step, a board deposited in the faraday cage(14) is etched. At the third step of the present invention, at least a part of the upper side of the faraday cage is etched using various precursor porous compartments(16). The part etched, the direction of etching, and the velocity of etching are controlled using the various precursor porous compartments(16).



COPYRIGHT 2000 KIPO

Legal Status

Date of request for an examination (19981119)  
Notification date of refusal decision (00000000)  
Final disposal of an application (registration)  
Date of final disposal of an application (20000821)  
Patent registration number (1002812410000)  
Date of registration (20001116)  
Number of opposition against the grant of a patent ( )  
Date of opposition against the grant of a patent (00000000)  
Number of trial against decision to refuse ( )  
Date of requesting trial against decision to refuse ( )

공개특허특2000-0033006

**(19)대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

**(51) Int. Cl. 6**  
**H01L 21/3065**

**(11) 공개번호 특2000-0033006**  
**(43) 공개일자 2000년06월15일**

**(21) 출원번호** 10-1998-0049658

**(22) 출원일자** 1998년11월19일

**(71) 출원인** 주식회사 허미즈 하대규  
 서울특별시 서초구 반포4동 54-11

**(72) 발명자** 문상훈  
 서울특별시 서초구 방배3동 1028-1 경남아파트 3동 801호  
 조병옥  
 서울특별시 관악구 봉천7동 서울대학교 관악사 가족생활동 933동 105호

**(74) 대리인** 김의박

심사청구 : 있음

**(54) 파라데이 상자의 윗면의 격자면을 변화시켜 플라스마 식각을하는 방법**

**요약**

반도체, 광전자 및 미세기계소자의 가공에서는 식각벽면의 각도를 임의로 조절할 필요가 있다. 본 발명은 격자면의 모양을 다양하게 변형시킨 파라데이 상자를 플라스마 식각장치 내에 설치하고 상자 내부에 식각하려는 기판을 놓음으로써 파라데이 상자의 격자면을 통해 입사하는 이온이 다양한 방향으로 기판 표면을 때리도록 하여 식각벽면의 각도를 임의로 조절하는 방법에 관한 것이다.

식각할 기판은 한 면 이상이 격자면으로 구성된 전도성의 파라데이 상자 내부에 놓인다. 격자면이 기판 표면과 평행한 파라데이 상자를 이용하면 기존의 플라스마 식각법보다 더 수직인 식각벽을 얻을 수 있고, 격자면이 기판표면에 대하여 일정한 각도를 가지도록 고정하면 기판표면의 수직 방향으로부터 이 각도만큼 경사진 식각단면을 얻을 수 있다. 또, 서로 일정한 각도로 맞붙은 2개의 격자면을 가진 파라데이 상자를 이용하면 기판표면에 연속된 V홈을 가진 그레이팅을 만들 수 있는데 격자면의 각도로서 V홈의 양 빔면 각도를 조절할 수 있다. 곡면을 이루는 격자면을 가진 파라데이 상자를 이용하면 기판표면의 위치에 따라 식각방향과 식각속도를 달리 하여 식각할 수 있다. 또, 격자면 대신 개방된 패턴이 새겨진 전도성의 윗판을 가진 파라데이 상자를 이용하면 기판표면에 광광고분자막을 사용하지 아니하고도 직접적으로 정확한 패턴 식각을 수행할 수 있다.

반도체 가공공정에서 대직경의 웨이퍼를 기판으로 하여 식각할 경우에는 공정 수율의 제고를 위하여 기판의 모든 위치에서 식각단면의 모양 및 식각깊이가 균일하게 식각이 수행되어야 한다. 플라스마 식각법에서 불균일한 식각기체의 흐름이나 불균일한 전하입자의 분포 등은 균일 식각을 방해하는 주요 원인들이다.

본 발명의 2중 곡면의 격자면을 가진 파라데이 상자나 격자 크기가 위치에 따라 변하는 격자면을 가진 파라데이 상자를 이용하면 식각방향은 기판표면에 수직인 방향으로 유지하면서도 위치에 따라 임의로 식각속도를 조절할 수 있어 균일한 식각을 구현할 수 있다.

**대표도**

도2

**명세서**

**도면의 간단한 설명**

도 1 : 미합중국 특허 제 4309267호에서 보이드 등이 사용한 식각장치.

도 2 : 티씨피 플라즈마 식각반응기의 음전극에 격자면이 기판에 대하여 경사진 파라데이 상자를 전기적으로 접속시켜 구현한 식각장치의 단면도.

도 3 : 파라데이 상자의 격자면이 기판과 평행한 식각장치의 단면도.

도 4 : 파라데이 상자의 윗면 중 일정부위가 가려진 식각장치의 단면도.

도 5 : 파라데이 상자의 윗면에 개방된 패턴이 있는 식각장치의 단면도.

도 6 : 파라데이 상자의 격자면이 기판과 일정한 각도를 이루도록 경사진 식각장치의 단면도.

도 7a 및 도 7b : 파라데이 상자의 윗면이 서로 일정한 각도를 이루도록 맞붙은 2개의 경사진 격자면으로 구성된 식각장치의 단면도들.

도 8 : 파라데이 상자의 윗면이 단일 곡면의 격자인 식각장치의 단면도.

도 9 : 파라데이 상자가 이중 격자로 구성되고 기판은 파라데이 상자의 밑에 놓인 식각장치의 단면도.

도 10 : 파라데이 상자의 격자면이 기판 표면과 평행하며 격자면의 격자 크기가 위치에 따라 변하는 식각장치의 단면도.

도 11a : 본 발명의 실시예 1과 대비되는 종전의 방법에 의한 식각단면 사진.

도 11b : 본 발명의 실시예 1에 의한 식각단면 사진.

도 11c : 퍼세팅 정도를 나타내는 그래프.

도 12a 및 도 12b : 본 발명의 실시예 2에 의한 식각단면 사진들.

도 13 : 본 발명의 실시예 3에 의한 식각단면 사진.

도 14a 및 도 14b : 본 발명의 실시예 4에 의한 식각단면 사진들.

도 15a 및 도 15b : 본 발명의 실시예 5에 의한 식각단면 사진들.

도 16a 내지 도 16c : 본 발명의 실시예 6에 의한 식각단면 사진들.

도 17a 내지 도 17f : 본 발명의 실시예 7에 의한 식각단면 사진들.

도 18a 내지 도 18c : 본 발명의 실시예 8에 의한 식각단면 사진들.

(도면의 주요부분에 대한 부호의 설명)

1 : 보이드 등이 사용한 파라데이 상자 2 : 윗판

3 : 산화규소막 4 : 격자면

5 : 기판 지지대 6 : 기판

7 : 이온 8 : 소스 전극

9 : 티씨피 코일 10 : 유전창

11 : 바이어스 전극 12 : 플로팅 커패시터

- 13 : 음전극 14 : 본 발명의 파라데이 상자  
 15 : 윗판 16 : 격자면  
 17 : 기판 18 : 이온  
 19 : 개방된 패턴이 새겨진 윗판 20 : 경사진 차폐판  
 21 : 이중격자 파라데이 상자의 다리 22 : 윗 격자면  
 23 : 아래 격자면 24 : 기판  
 25 : 이온  
 26 : 위, 아래 격자면을 통과한 이온  
 27 : 윗 격자면 외부에 형성된 시스  
 28 : 아래 격자면 외부에 형성된 시스  
 29 : 기판 표면에 형성된 시스  
 30 : 격자는 크기가 가장 작은 격자면  
 31 : 격자는 크기가 중간인 격자면  
 32 : 격자는 크기가 가장 큰 격자면

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야 종래기술

본 발명은 플라스마 식각공정시 기판에 입사하는 이온의 방향을 조절해서 식각하는 방법에 관한 것으로서 본 발명의 방법을 사용시 기판 표면에 대하여 다양한 방향으로 식각을 할 수 있으며 따라서 폭넓게 응용할 수 있는 여러 가지 모양의 식각단면을 얻을 수 있다. 그리고 본 발명의 방법을 사용하면 기판 표면에 수직인 방향으로 식각하면 서도 기판 표면의 위치에 따라 식각속도를 임의로 조절할 수가 있어 대직경 (大直徑) 웨이퍼의 식각시 표면식각의 균일도가 매우 높은 제품을 얻을 수 있다.

본 발명이 속하는 기술 분야 및 그 종래 기술을 기재함에 있어서 이해를 돕기 위하여 다음과 같이 항목별로 서술하고자 한다.

#### 1. 플라스마

플라스마는 고체, 액체, 기체를 잇는 제 4의 물질 상태에서 간단하게는 전리기체(電離氣體; Ionized Gas)라고도 일컬어진다. 플라스마의 예로는 태양의 표면이나 핵분열 및 핵융합 시의 물질상태와 같은 고온의 플라스마로부터 형광등 및 네온사인에 응용되는 저온의 플라스마까지 다양하다. 이 중에서 저온 플라스마는 반도체 공정에 폭넓게 사용되고 있다(B. Chapman, "Glow discharge processes", John Wiley & Sons, New York (1980)).

일반적으로 반도체 공정에서 사용되는 플라스마는 라디오파(300 KHz - 30 MHz ; KHz =  $10^3$  Hz, MHz =  $10^6$  Hz) 또는 마이크로파(300 MHz - 30 GHz ; GHz =  $10^9$  Hz)와 같은 고주파수의 전력을 반응기 내의 기체에 걸어 줌으로써 생성된다. 여기에 사용되는 기체는 매우 다양한데 예를 들면, 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar) 등과 같이 화학적 활성이 없는 불활성 기체로부터 사불화탄소 (CF

<sub>4</sub>)를 비롯한 여러 가지 불화탄소류(예를 들어, CHF<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 등)와 육불화황(SF<sub>6</sub>), 불소(F<sub>2</sub>), 염소 (Cl<sub>2</sub>) 및 삼염화붕소(BCl<sub>3</sub>)와 같은 염소 화합물 등이 있고 응용분야에 따라 이 기체들끼리 적당히 섞어 쓰기도 하며 여기에 산소(O<sub>2</sub>), 수소(H<sub>2</sub>), 질소(N<sub>2</sub>) 등을 섞기도 한다.

반응기 내에 있는 기체에 고주파수의 에너지가 전달되면 이 중 일부의 기체는 전리(電離)가 되어 원래의 전기적인 중성상태로부터 벗어나게 된다. 즉, 음전하(陰電荷)인 전자를 잃은 기체 입자는 양의 전기를 띤 양전하(陽電荷)가 되고, 반대로 전자를 얻은 입자는 음의 전기를 띤 음전하가 된다. 전자를 잃고 얻는 경향은 각 기체의 성질에 따라 다르다. 그러므로, 플라스마는 거의 같은 양의 양전하 입자와 음전하 입자, 그리고 그보다 수백배 내지 수만배 많은 중성입자(中性粒子)로 이루어지며 전체적으로는 양전하와 음전하의 영향이 서로 상쇄되어 중성을 띠는 물질상태를 의미한다. 플라스마를 구성하는 입자들 중 전자는 질량이 매우 작아 가장 가벼운 원자인 수소원자(H)의 약 2000분의 1에 불과하므로 외부에서 걸어주는 전자기장에 의한 에너지를 운동에너지로 쉽게 흡수할 수 있다. 이에 따라 빠른 속도로 운동하는 전자는 다른 기체 입자들과 충돌하면서 원래 질량이 큰 입자를 질량이 작은 두 개의 기체 입자로 쪼개기도 하는데 (예: CF

$4 + e \rightarrow CF_3 + F + e$  이 과정에서 원래 넣어준 기체( $CF_4$ )보다 훨씬 반응성이 높은 입자( $CF_3$  또는  $F$ )가 생성되기도 한다. 여기서  $CF$

$4$ ,  $CF_3$ ,  $F$ 는 모두 전기적으로 중성입자들이지만 이 중  $CF_4$ 는 안정한 입자로서 화학반응을 하지 않는데 반하여  $CF_3$  및  $F$ 는 각각 탄소원자(C)와 불소원자(F)의 최외각(最外殼)에 결합하지 못한 전자 1개가 남아 있어 다른 입자와 결합, 반응하려는 성질이 매우 강함인데 이러한 입자를 중성입자 중에서도 특히 라디칼(Radical)이라고 부른다. 또, 전자와 다른 입자들과의 충돌 과정에서 양전하인 양이온이 생성되기도 하고(예:  $CF$

$3 + e \rightarrow CF_3^+ + e + e$ ,  $F + e \rightarrow F^+ + e + e$ ), 음전하인 음이온이 생성되기도 한다(예:  $Cl + e \rightarrow Cl^-$ ).

플라즈마는 밝은 빛을 내는 것이 보통인데 이는 플라즈마 중의 전자가 원자와 충돌할 때 전달해 준 에너지로 인해 원자 내부의 낮은 에너지 상태에 있던 전자가 더 높은 에너지 준위로 여기(勵起; Excitation)되었다가 다시 낮은 에너지 상태로 안정화되면서 그 준위 차이에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 방출하기 때문이다. 그러나, 플라즈마에 접하고 있는 물체의 표면에서는 빛이 매우 약한 지역이 형성되는데 이를 시스(Sheath)라고 부른다. 음전하의 대부분을 차지하는 전자의 질량이 매우 작아 운동성이 큰 반면, 양전하의 대부분을 이루는 질량이 큰 양이온은 운동성이 작으므로 플라즈마와 접하는 물체의 표면에는 전자들이 훨씬 더 많이 쌓이게 되고 이로 인해 물체의 표면은 음의 전기를 띠게 된다. 음으로 대전(帶電)된 표면과 유입하려는 전자 사이에는 서로 미는 힘이 작용하므로 표면에는 전자의 유입이 억제되고 반대로 양이온의 경우에는 끄는 힘이 작용하므로 양이온의 유입은 촉진된다. 이와 같이 전하들에 미치는 대전된 표면의 영향은 전체적으로 중성을 유지하려는 플라즈마의 특성에 의해 표면에서 멀어질수록 급속히 감소하고 플라즈마 벌크로 들어가면 그 영향은 사라지게 된다. 표면으로부터 표면의 영향이 사라지는 지점까지의 거리를 시스의 두께라고 하며 이를 넣어가면 플라즈마 벌크 상태가 된다. 시스의 두께는 플라즈마를 생성하는 여러 가지 공정조건에 따라 달라지나 반도체 가공공정에 사용되는 플라즈마에서는 대략 0.1 - 10 mm의 범위에 있다. 시스의 두께 내에서 표면의 영향은 표면에 들어오는 양이온에 대하여는 언덕의 내리막길처럼 작용하나 음전하인 전자에 대하여는 오르막길처럼 작용하므로 시스에서는 플라즈마 벌크에 비해 전자의 농도가 매우 낮게 유지된다. 그러므로 시스에서는 전자와 다른 입자간의 충돌 빈도도 함께 낮아지게 되고 따라서 표면에서 먼 지역, 즉 플라즈마 벌크(Bulk)에서 발광(發光)하는 것과는 달리 거의 발광하지 않아 어둡게 되는 것이다.

한편, 표면이 음으로 대전되었으므로 시스로 들어오는 이온(대부분이 양이온임)은 표면으로 끌리는 전자기력(電磁氣力)을 받아 가속된다. 즉, 양이온은 시스 경계면과 물체 표면 사이의 전위차(電位差)에 해당하는 에너지를 얻어 표면에 입사, 충돌하게 된다. 이 때, 시스는 물체의 표면에 평행하게 생성되므로 시스 안에서 같은 전위를 나타내는 지정들끼리 연결한 등전위선(等電位線) 역시 물체의 표면에 평행하게 형성된다. 한편, 전자기력(電磁氣力)의 방향은 등전위선에 수직한 방향이 되는데 이는 언덕에서 공을 굴릴 때 중력에 의해 공에 작용하는 힘의 방향이 그 지점을 나타내는 지도(地圖)의 등고선에 수직한 방향인 것과 같은 원리이다. 그러므로 시스에 들어온 이온은 표면에 수직으로 가속되어 입사하게 된다.

한편, 플라즈마 벌크는 운동성이 높은 전자들의 일부가 플라즈마를 감싼 용기(容器)의 표면으로 빠져나가서 전체적으로는 중성을 벗어나 약간 양의 전기를 띠게 된다. 그러므로 플라즈마를 감싼 용기를 접지시켜 전위를 0으로 하면 플라즈마 벌크의 전위는 대략 5 - 30 볼트 정도로 유지된다.

## 2. 플라즈마 식각법

식각공정은 반도체 소자, 광전자 소자, 미세기계 소자 등을 제조하는데 사용되는 공정으로서 기판 표면 중 필요한 부분만을 제거하는 공정이다. 여기서 제거하지 말아야 할 부분은 마스크(Mask)로 덮어 가린다. 반도체 산업 초기의 식각공정에서는, 기판을 산이나 알칼리 또는 그들의 혼합 용액에 담그어 마스크에 덮이지 않은 기판 표면을 선택적으로 화학적 반응에 의해 제거하는 습식식각법(濕式蝕刻法; Wet Etching)이 사용되었으나 근래에는 대부분의 경우 플라즈마를 이용한 건식식각법(乾式蝕刻法; Dry Etching)으로 대체되었다(D. M. Manos and D. L. Flamm, "Plasma Etching", Academic Press, California (1989)). 습식식각법의 경우 식각을 전적으로 화학반응에 의존하고 있어 식각속도가 기판의 모든 방향에 대하여 같고, 그 결과로서 둥근 모양의 식각단면을 얻는 것이 보통이다. 이러한 등방성(等方性) 식각단면은 식각깊이가 증가할수록 단면의 너비도 함께 증가하므로 소자의 고집적도(高集積度)를 요구하는 반도체의 제조에는 부적합하다.

이에 반하여 플라즈마를 이용한 건식식각법의 경우에는 기판 표면의 시스에서 가속된 이온이 표면에 수직으로 입사하므로 식각속도는 기판 표면에 수직한 방향으로 가장 크다. 이와 같은 비등방성(非等方性) 식각을 이용하면 기판 표면의 수평한 방향으로 식각하지 않으면서 수직한 방향으로 깊이 식각할 수 있어, 고집적 회로의 제조에 유리하다.

## 3. 플라즈마 식각법의 종류

플라즈마 식각장치 중 가장 많이 사용되는 것을 중의 하나가 평행평판형(平行平板形; Parallel Plate) 플라즈마 식각

장치이다(D. M. Manos and D. L. Flamm, "Plasma Etching", Academic Press, California (1989)). 이 장치의 반응기 내부에는 두 개의 전극이 평행하게 일정 간격을 두고 고정되어 있는데, 두 전극 중 한 전극에 고주파수의 전력이 전달되고 나머지 전극은 접지(接地)가 된다. 식각하고자 하는 기판이 접지 전극 위에 고정되어 있을 때를 좁은 의미의 플라즈마 식각(PE; Plasma Etching)이라고 부른다. 접지 전극의 전위는 0 볼트로 고정되므로 접지 전극 위에 생성되는 시스의 전위차는 플라즈마 벌크의 전위인 수십 볼트 정도(대략 30 볼트 이하)가 된다. 따라서 접지전극 위에 놓인 기판 위로 입사하는 이온은 화학 반응이 촉진될 만큼의 최소한의 에너지, 또는 그 이하의 에너지만을 전달하고 플라즈마 벌크로부터 표면에 들어오는 반응성 높은 라디칼이 주로 식각에 기여한다. 라디칼은 전기적으로 중성이므로 시스에 의해 가속되지 않으며 기상(氣狀)의 온도에 해당하는 에너지를 가지고 모든 방향에 대하여 같은 확률로 움직인다. 기상의 온도가 20 °C일 때 중성 입자의 운동에너지는 전위로 환산하면 0.025 볼트로서 이는 시스에서 가속 받은 이온에 비하면 무시할 만큼 작은 에너지이다. 그러므로 기판이 접지전극에 놓인 경우에는 습식식각과 비슷하게 주로 화학적인 식각이 이루어지며 등방성에 가까운 식각단면이 생성된다.

반면 고주파수의 전력이 전달되는 전극의 표면에는 수백 볼트의 큰 전위차를 가진 시스가 형성되므로 여기에 기판이 놓일 경우에는 운동에너지가 매우 큰 이온이 기판에 수직인 방향으로 입사하게 된다. 이 경우에 반응성 기체를 사용하는지의 여부에 따라 다시 식각법이 세분된다. 기판과 반응하지 않는 아르곤(Ar) 등의 불활성 기체를 이용할 경우에는 기판과의 화학반응이 일어나지 않고 오직 높은 에너지로 충돌하는 이온에 의해 물리적으로 식각된다. 이러한 식각법을 스퍼터링(Sputtering) 식각법이라고 부른다. 이 경우에는 비등방성의 식각단면이 얻어질 수 있으나 식각이 전적으로 이온의 충돌에 의해 이루어지므로 기판의 표면이 손상을 입을 수 있다. 이러한 손상은 소자 제조 시에 불량의 원인이 되는데 예를 들어 미세소자 중 축전기(蓄電器; Capacitor)의 경우 전하를 일정 시간 동안 저장해야 하는데 기판 표면이 손상을 입으면 전하가 새어 나가게 된다.

기판(예로서 산화규소막;  $\text{SiO}_2$ )을 전력전달 전극 위에 놓고 기판과 화학적으로 반응할 수 있는 기체(예로서 사불화탄소;  $\text{CF}_4$ )를 사용하는 경우의 식각법을 반응성 이온 식각(RIE; Reactive Ion Etching (D. M. Manos and D. L. Flamm, "Plasma Etching", Academic Press, California (1989)))이라고 하는데 이는 화학적 식각의 장점(마스크는 식각하지 않고 기판 표면만 식각할 수 있는 선택적 식각)과 물리적 식각의 장점(표면에 수직인 방향으로만 식각할 수 있는 비등방성 식각)만을 이용할 수 있는 방법이다. 이는 반응성 이온 식각에서 화학적 반응성이 높은 라디칼과 높은 에너지의 이온을 동시에 얻을 수 있기 때문이다. 즉, 적절히 높은 에너지(수백 볼트)로 입사한 이온은 운동량(질량과 속도의 곱으로 표시된 양)을 표면에 전달하여 플라즈마 중의 라디칼과 기판 표면의 원자가 화학적으로 반응하는 것을 촉진시킨다. 이때 이온에 맞은 부분의 식각속도는 이온에너지에 따라 증가하며 이온에 맞지 않은 부분의 식각속도에 비해 월등히 크므로 식각은 이온의 입사 방향대로 기판 표면에 수직인 방향으로 진행된다. 식각은 화학반응에 의하여 진행되므로 스퍼터링 식각에 비해서는 기판의 손상을 많이 줄일 수 있다. 반응성 이온 식각은 가장 널리 사용되는 식각법 중의 하나로서 규소(Si), 갈륨비소(GaAs), 인듐인(InP) 등의 반도체, 산화규소( $\text{SiO}_2$ ), 질화규소( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), 질화갈륨(GaN) 등의 절연체, 알루미늄(Al), 백금(Pt), 구리(Cu) 등의 전도체에 이르기까지 다양한 기판을 식각하는 데 사용되고 있다.

최근에는 반응성 이온 식각에서 이온 충돌에너지에 의한 기판의 손상을 최소화하기 위하여 티씨피(TCP; Transformer Coupled Plasma)와 같은 고밀도(高密度) 플라즈마 발생장치를 이용한 식각도 널리 사용되고 있다. 티씨피는 변압기(變壓器; Transformer)와 유사한 방법으로 발생시킨 플라즈마이다. 변압기에서는 두 개의 인접한 코일이 있어 1차 코일에 전류를 흘려 줄 때 생기는 유도 자장에 의해 2차 코일에 전류가 흐르게 된다. 이와 마찬가지로 티씨피에서는 식각 반응기의 우경을 이루는 세라믹·유질의 유전창(誘電窓; Dielectric Window) 위에 1차 코일을 두고 여기에 교류를 가함으로써 반응기 내의 기체에 2차 전류를 발생시키는데 그 결과 반응기 내에 플라즈마가 생성된다. 1차 코일에 흐르는 교류 전류로 인한 유도 자장의 자기력선(磁氣力線)은 유전창을 통해 반응기 내로 침투하는데 플라즈마를 이루는 전자들은 이 자기력선을 따라 나선형으로 돌면서 진행하게 된다. 이에 따라 전자들의 평균 진행경로가 길어지므로 평행평판형 플라즈마의 경우에 비해 전자들이 더 많은 기체 입자들과 충돌하게 된다. 즉, 더 많은 전리 반응을 일으켜 이온의 농도가 평행평판형의 경우에 비해 약 100배까지 증가하는 고밀도 플라즈마가 생성되는 것이다. 이러한 고밀도 플라즈마에서는 이온의 플럭스, 즉 단위 시간당 단위면적에 입사하는 이온의 개수가 증가하는 반면 음전극 위에 생성되는 시스의 전위차는 감소하므로 기판에 입사하는 이온의 에너지 역시 감소하게 된다. 식각속도는 이온의 에너지 뿐 아니라 이온의 플럭스, 즉 입사하는 이온의 수량에 의해서도 결정되므로 티씨피와 같은 고밀도 플라즈마 식각장치를 사용하면 식각속도는 반응성 이온 식각법에 비해 감소하지 않으면서 이온 입사에 의한 기판의 손상을 최소화할 수 있다.

좁은 의미의 플라즈마 식각법, 스퍼터링 식각법, 반응성 이온 식각법에서는 모두 전극 표면 또는 전극 위에 놓인 기판의 표면 위에 형성된 시스를 통하여 외부의 전력이 플라즈마에 전달되는데, 시스는 전기회로적으로 축전기(축전기; Capacitor)의 성질을 가지므로 이러한 식각법에 사용되는 플라즈마를 용량결합형(容量結合型; Capacitively coupled) 플라즈마라고 한다. 한편 티씨피의 경우에는 전기적으로 인덕터(Inductor)의 성질을 가지는 코일을 통해 전력이 전달되므로 유도결합형(誘導結合型; Inductively coupled) 플라즈마라고 한다(M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, "Principles of plasma discharges and materials processing", John Wiley & Sons, New York (1994)).

#### 4. 식각방향의 조절

반도체, 광전자 소자, 미세기계 가공 등의 제조 공정에서 요구되는 식각단면은 응용 목적에 따라 기판 표면에 수직인 방향으로 식각된 단면으로부터 기판 표면에 경사지게 식각된 단면까지 다양하다. 경사진 식각단면이 요구되는 응용 분야의 일례로서 그레이팅을 들 수 있다. 그레이팅은 광전자 소자, 분광기 및 음향기기 등에 필요한 요소로서 V자의 홈이 연속되는 표면 구조를 가지고 있는데 빔의 각도 조절이 중요하고 응용에 따라 좌우대칭의 V 홈 뿐만 아니라 비대칭의 V 홈도 자주 요구된다.

그러나, 플라스마 식각의 경우에는 시쓰가 항상 기판 표면을 따라 평행하게 형성되므로, 시쓰의 등전위선에 수직으로 가속되는 이온은 기판의 경사 여부에 상관없이 기판에 수직하게 입사하고 따라서 기본적으로 수직 식각단면을 형성한다.

플라스마 식각법을 사용하지 않고 경사진 식각을 수행할 수 있는 선행기술로는 비등방성 습식식각(非等方性 濕式蝕刻; Anisotropic Wet Etching (M. Kappelt and D. Bimberg, J. Electrochem. Soc. 143, 327 (1996)))을 들 수 있다. 산이나 알칼리의 혼합 용액에 결정성(結晶性) 기판을 담글 때 혼합 용액과 기판 표면의 식각 반응속도가 결정면에 따라 달라지는 경우가 있다. 일반적으로 결정성 물질에서 결정면에 따라 표면원자밀도(단위 면적당 원자수)가 다른데 표면원자밀도가 높은 결정면의 식각속도는 느리고 반대로 표면원자밀도가 낮은 결정면의 식각속도가 빠르다. 비등방성 습식 식각은 이러한 현상을 이용한 것이다. 이 경우, 기판이 결정성이어야 한다는 제한이 있으며, 식각단면의 각도도 인접한 기판의 결정성 및 표면원자밀도에 따라 제한된다. 또, 만약 비대칭의 V 홈을 만들고자 할 때에는 기판의 표면을 미리 원래의 결정면으로부터 비스듬하게 자르고 다시 그 자른 표면을 매끄럽게 다듬어야 하는 불편이 있다.

이러한 제한점과 불편점들을 해결하면서 기판 표면에 대하여 경사진 식각을 수행할 수 있는 선행기술로는 이온빔 식각(Ion Beam Etching (O. Auciello and R. Kelly, "Ion bombardment modification of surfaces", Elsevier, Amsterdam (1984)))이 있다. 이온빔 식각은 플라스마 등의 이온원(Ion 源)으로부터 추출한 이온을 가속격자(加速格子; Accelerator Grid)를 통해 가속시킨 후 표적이 되는 기판에 입사시키는 방법이다. 이 때 기판이 놓이는 공간은 이온의 입사를 방해하지 않도록 고진공으로 유지한다. 일반적으로 이온빔 식각장치에서는 상부에 이온을 발생, 추출, 가속, 입사시키는 이온총(Ion gun)이 위치하고 이로부터 밑으로 일정 거리에 기판 지지대가 설치되어 있어 위로부터 입사하는 이온빔에 대하여 지지대의 각도를 조절할 수 있게 되어 있다.

이온빔 식각에서는 반응성 이온 식각의 경우와는 달리 기판이 플라스마에 직접 노출되지 않으므로 시쓰가 기판 위에 생기지 않는다. 그러므로 이온의 입사 방향이 고정된 채 기판을 고정시키는 지지대의 각도를 조절하여 식각방향을 원하는 대로 조절할 수 있다. 또, 이온빔 식각의 경우, 가속격자에 연결된 직류 전압을 조절하여 이온의 에너지를 제어할 수 있다. 이온빔의 식각 방향은 기판의 결정성에 거의 무관하므로 이온빔 식각은 결정성 기판 뿐 아니라 비등방성 습식 식각으로는 처리할 수 없는 산화규소막이나 질화규소막 등의 비결정성 기판을 경사진 방향으로 식각하는데 폭 넓게 사용되어 왔다.

그러나 이온빔 식각의 경우에는 이온보다 반응성이 훨씬 큰 라디칼을 이용하기 어려운 단점이 있다. 이온빔 식각의 여러 가지 방법 중에는 이온 밀링(Ion Milling (D. M. Manos and D. L. Flamm, "Plasma Etching", Academic Press, California (1989))), 화학적 공조 이온빔 식각(CAIBE; Chemically Assisted Ion Beam Etching (R. Panepucci, C. Youtset, D. A. Turnbull, and S. Q. Gu, J. Vac. Sci. Technol. B 13, 2752 (1995))), 반응성 이온빔 식각(RIBE; Reactive Ion Beam Etching(A. M. Barklund and H. -O. Blom, J. Vac. Sci. Technol. A 10, 1212 (1992)))이 있다. 이 중 이온 밀링은 아르곤(Ar)과 같은 비활성기체를 도입하여 비활성 이온(Ar

+)의 입사에 의한 물리적인 식각을 수행하는 방법이다. 그러므로 이온 밀링에서는 반응성이 높은 라디칼이 포함되지 않는다. 화학적 공조 이온빔 식각의 경우에는 비활성 이온빔을 사용한다는 점에서는 이온 밀링과 같으나 기판이 놓이는 곳에 염소(Cl

2) 등의 반응성 기체를 도입한다는 점에서 다르다. 반응성기체가 흡착한 기판 표면에 이온빔이 입사하여 화학적 반응이 촉진되면서 식각이 진행된다. 그러나 반응성 기체(예: Cl

2)는 그 자체로서 안정하므로 플라스마 중에서 분해되어 생긴 라디칼(예: Cl)에 비하면 그 화학적 반응성이 매우 낮은 편이다. 반응성 이온빔 식각의 경우에는 이온빔을 추출하기 위한 플라스마에 염소(Cl

2)와 같은 반응성 기체를 도입하여 Cl<sup>+</sup>와 같은 반응성 이온빔을 추출, 입사시킨다. 이 때 Cl<sub>2</sub>과 같은 라디칼도 발생하며 이들은 기판 표면에 입사하여 식각을 돕는다. 그러나 이 경우에 기판 표면에 입사하는 라디칼의 플럭스는 공정조건이 동일할 때 반응성 이온 식각 및 고밀도 플라스마 식각의 경우에 비해 0.01 - 0.1배 정도로 매우 낮다. 따라서 이온빔 식각의 속도는 반응성 이온 식각이나 고밀도 플라스마 식각에 비해 매우 낮은 편이다. 이온빔 식각에서 식각속도를 높이기 위해서 이온빔의 입사 에너지를 높일 수도 있으나 이 경우에 기판의 손상을 초래할 수 있다.

라디칼 중에는 위에서 예를 든 염소원자(Cl)과 같이 식각을 위한 화학반응에 참여하는 화학종(化學種)도 있으나 이와는 반대로 표면에 달라붙어 고분자막을 형성함으로써 식각의 진행을 방해하는 라디칼도 있다. 후자와 같은 예로서 불화탄소 플라스마 중의 CF

를 들 수 있다. 이들은 규소나 산화규소 표면에 잘 용착하면서 서로 잘 결합하여 기판 표면에 고분자의 박막을 형성한다. 이와 같이 고분자막의 재료가 되는 라디칼을 고분자 전구체(高分子 前驅體; Polymer Precursor)라 한다. 이로 인한 고분자 박막은 식각 중 모든 표면에 생기나 이온이 기판 표면에 수직입사하므로 단면 중 밑의 바닥면에 생긴 고분자막은 이온의 충돌에 의해 제거된다. 반면에 단면 중 옆의 벽면에 생긴 박막은 이온에 의하여 제거되지 않고 그대로 유지된다. 이 벽면의 박막은 빗겨 들어오는 이온이나 화학반응에 참여하는 라디칼로부터 벽면을 보호해 주어 수직식각단면을 얻을 수 있게 해준다. 그러므로 너비에 비해 식각 깊이가 큰 고형상비 (高形狀比; High Aspect Ratio)의 식각단면을 얻는 식각공정에서는 식각 측벽에 고분자의 보호막을 형성하는 기체와 이로부터 고농도의 고분자 전구체를 생성하는 반응성 이온 식각법이나 고밀도 플라스마 식각법이 많이 쓰인다.

이와 같이 라디칼을 이용하는 점에 있어서 이온빔 식각에 비해 상대적인 장점을 가지는 반응성 이온 식각 및 고밀도 플라스마 식각 방법을 사용하면서, 경사진 식각을 수행할 수 있는 선행기술로는 보이드(Boyd) 등의 발명(미합중국특허 제 4309267호)이 있다. 이는 파라데이 상자(Faraday cage)를 플라스마 식각 장치 내의 전력이 전달되는 음전극 위에 설치하는 것이다. 파라데이 상자란 단순히 전도성 물질로 이루어진 폐곡면의 상자를 의미하는데 이 상자의 내부는 모두 같은 전위로 유지된다. 전도체 상자의 표면에 외부의 전하가 더해진다고 해도 상자의 표면은 전도체이므로 전도체 상자의 폐곡면 상에서 전하는 항상 균일하게 분산된다. 상자 내부 공간의 한 지점에 전하가 있다고 가정할 때 상자 표면의 전하가 공간의 정전하에 미치는 힘은 모든 방향에서 상쇄되어 결국은 0이 된다. 이같은 원리는 전자기학에서 가우스의 법칙으로 설명된다. 이같은 파라데이 상자의 외부 전자기장에 대한 차폐 효과는 전기적으로 민감한 전자장치를 정전기발생이나 전자파와 같은 외부의 전기 충격에서 보호하는데 주로 사용되어 왔다.

보이드 등이 고안한 방법은 이같은 파라데이 상자(Faraday Cage)의 원리를 플라스마 식각에 응용한 것이다. 파라데이 상자의 표면에 완전한 폐곡면으로 구성되지 않고 그 표면에 작은 구멍들이 뚫려 있다 해도 그 구멍들에 인접한 곳을 제외한 상자 내부의 대부분의 공간에서는 전기장의 힘이 여전히 거의 0에 가깝게 유지된다. 도 1에 보인 바와 같이 보이드 등이 사용한 파라데이 상자(1)는 완전한 폐곡면은 아니며 윗면이 전도체(電導體)의 다공성 격자면(多孔性 格子面; 4)으로 구성된 직육면체의 전도체 상자이다. 이 상자의 내부에는 한쪽면이 빗면으로 구성된 기판 지지대(5)가 있어 기판(6)을 격자면에 대하여 경사진 각도로 놓을 수 있게 되어 있다. 이때 플라스마 내부에 놓여진 파라데이 상자의 격자면(4) 위에 시쓰가 형성되는데 시쓰는 격자를 이루는 전도체 물질 위에만 형성되는 것이 아니라 격자의 열린 부분에도 연속적으로 형성된다. 시쓰에서 격자면에 수직한 방향으로 가속된 이온들(7)은 격자의 열린 부분을 통해 상자 내부로 입사하게 된다. 상자 내부에는 파라데이 상자의 원리에 따라 전기장이 없으므로 이온들은 격자면을 지나올 때의 방향을 유지하며 이동하다가 경사진 기판에 충돌하게 된다. 상자 내부에서 기판 표면은 격자면에 대하여 경사진 채로 고정되어 있고 이온은 격자면에 수직한 방향으로 입사하므로 기판 표면에 대하여 경사진 방향으로 식각이 이루어진다. 이로써 반응성 이온식각 및 고밀도 플라스마 식각법의 높은 식각속도를 유지하면서도 경사진 식각이 가능하게 된 것이다.

그러나 보이드 등이 고안한 발명대로 경사진 방향으로의 식각을 위해 경사진 기판 지지대(5)를 쓰는 방식은 여러가지 한계점을 내포하고 있다. 대직경의 웨이퍼를 기판으로 하여 경사진 식각을 수행할 때 웨이퍼의 지지대 또한 매우 큰 부피를 차지하게 되며 이것은 플라스마 내에서 큰 부하(負荷; Load)로 작용하게 된다. 예를 들어, 웨이퍼의 직경이 30cm일 때 기판 표면에 대하여 45도로 경사진 식각단면을 얻기 위해서는 파라데이 상자 내부에 들어가는 기판 지지대의 최대 높이는 22 cm에 달하게 되는데 이는 전극간 거리를 너무 멀게 하여 플라스마 특성을 악화시킨다. 또, 기판 중 격자면에 가까운 부분과 먼 부분의 거리 차이가 일반적인 식각공정 조건에서의 평균자유행로(平均自由行路; Mean Free Path; 0.1 - 10 cm)에 비해 월등히 크므로 한 웨이퍼 상에서 위치에 따른 식각속도의 불균일도(不均一度; Nonuniformity)가 심해진다. 여기서 평균자유행로란 입사한 이온이 중성입자들과 충돌할 때 각 충돌간에 이온이 이동하는 거리의 평균값이며 이는 압력의 증가에 따라 감소한다. 그러므로 격자면에서 가까운 데 위치한 기판의 표면에는 이온들이 중성입자들과 거의 충돌하지 않고 입사하여 에너지 손실 및 입사 방향의 변화 없이 식각에 기여하는데 비하여 격자면에서 멀리 떨어진 기판 표면에는 이온들이 여기까지 도달하는 도중에 라디칼들과 많이 충돌을 하므로 운동에너지도 약화되고 입사방향도 변해서 입사하게 된다. 또, 격자면 중 한개의 격자 구멍을 통과한 이온들의 집합을 이온빔이라 할 때 이온의 비행거리가 증가하면서 이온빔 직경이 커지는 이온빔 분산 효과가 생긴다. 그러므로 중성원자들과의 충돌이 없다 해도 격자면에서 먼 기판은 가까운 기판의 경우보다 수직 방향에서 벗어난 방향으로 입사하는 이온이 많아진다. 이와 같이 보이드 등이 발명한 방법에 의하면 기판 지지대의 각도에 따라 기판의 식각속도와 방향이 불균일해지므로 이 방법은 대직경의 기판 식각에는 적합하지 않다.

그리고 보이드 등의 발명은 이온의 입사 흐름이 음전극에 수직한 방향으로 고정된 상태에서 기판을 수동적(受動的)으로 움직이는 방식이므로 이온의 입사방향을 다양하게 조절할 수 없고 따라서 다양한 식각단면을 얻는 데에는 한계가 있다.



## 5. 식각속도의 조절

기존의 플라즈마 식각법을 이용하여 대적경의 웨이퍼를 식각할 때 웨이퍼 상의 위치에 따른 식각속도의 불균일 현상이 중요한 문제가 된다. 이는 식각속도의 불균일이 고집적 회로의 제조시 불량률을 높여 수율을 감소시키기 때문이다. 대부분의 경우 전극의 중심부에서는 식각속도가 크고 주변으로 가면서 속도가 감소한다. 여기에는 위치에 따라 라디칼과 이온의 농도가 불균일해지면서 농도에 따라 함께 변하는 플럭스도 불균일해지는 현상이 주요 원인으로 지적되고 있다. 위에서 설명한 바와 같이 라디칼과 이온은 식각에 기여하는 가장 중요한 입자들이므로 식각속도는 이들의 플럭스에 의해 결정된다. 이같은 식각속도의 불균일 문제를 해결하기 위해 지금까지 많은 연구와 발명이 진행되어 왔는데 주로 전술한 두가지 원인의 제거 또는 완화에 초점을 맞추고 있다. 위치에 따른 라디칼의 농도를 균일하게 하기 위해서는 주로 기체의 흐름을 조절하는 방법을 사용하는데 이에 관한 발명의 예는 다음과 같다.

첫째 예는 소결 처리된 다공성 확산기(多孔性 擴散器; Porous Sintered Diffuser)를 통하여 기체를 반응기에 도입함으로써 기체의 흐름을 균일하게 하는 방법(미합중국특허 제 5595602호)이다. 일반적으로 확산기는 링(Ring) 모양의 관에 들어온 열 개 내외의 도입구를 통해 기체를 대기압보다 훨씬 낮은 저압의 반응기로 내보내는데 이 때 압력 차이가 크므로 기체가 반응기 내로 확산하는 속도는 매우 크다. 이 과정에서 난류(亂流; Turbulent flow)가 생길 수 있으며 이로 인해 기체의 불균일한 흐름이 야기된다. 이 발명의 방법은 소결 처리하여 미세한 구멍이 많은 다공성의 판을 통해 기체를 유입함으로써 기체가 반응기 내에서 층류(層流; Laminar flow)로 균일하게 흐르도록 한 것이다. 둘째로 기체의 배출구를 주변부가 아니라 대용량의 부속실에 설치하는 방법(미합중국특허 제 4352974호)이 있는데 이는 주변부에서 배출 기체의 흐름을 완화시켜 난류가 생기지 않도록 한 것이다. 앞의 방법이 도입 기체의 흐름을 균일하게 하여 식각 속도의 균일도를 높이는 방법인데 비하여 후자는 배출 기체의 흐름을 균일하게 하는 방법이다. 그러나, 이 방법들은 근래에 사용되는 플라즈마 식각 공정에서는 식각 균일도를 향상시키는데 크게 기여하지 못하고 있다. 이는 대기압의 수만분의 일 이하인 수십 밀리토르(mTorr) 이하에서 수행되는 근래의 식각공정에서 기체 입자들은 연속적인 흐름(Continuous flow)에서 벗어나 분자적인 흐름(Molecular flow)에 의해 움직이는데 이 영역에서는 위에 설명한 바와 같이 난류에 의한 식각 불균일 효과는 무시되기 때문이다.

한편, 이온의 농도 및 그에 따른 이온의 플럭스를 균일하게 하려고 시도한 발명의 예는 다음과 같다. 첫째, 전극의 중심부에서 주변부로 가면서 전극간 거리를 감소하도록 하여 이온의 농도가 주변으로 갈수록 감소하는 현상을 보상하는 방법(미합중국특허 제 4230515호)이 있다. 플라즈마의 발생은 전극간 거리에 따라 영향을 받는데 일반적으로 전극간 거리가 가까울 때 이온 농도가 커진다. 그러므로 반응기 윗부분의 모양을 중심에서 주변으로 갈수록 낮아지는 형태로 만들면 전극의 주변부로 갈수록 전극간 거리가 감소하여 이온농도가 커진다. 그러나, 이 방법은 용량 결합형 플라즈마를 발생하는 평행평판형 플라즈마 식각장치에만 적용할 수 있다. 둘째로 티씨피와 같은 유도결합형 고밀도 플라즈마의 경우에는 유도 코일 밑의 유전창(誘電窓; Dielectric Window)의 두께를 달리 하여 유도결합 정도를 위치에 따라 조절하는 방법(미합중국특허 제 5226967호, 미합중국특허 제 5466991호)이 있다. 유도결합 플라즈마의 경우에는 1차 코일에 의한 유도 자장이 유전창을 통해 반응기 내의 기체로 침투하는데 침투 깊이 및 세기는 유전창의 두께에 영향을 받는다. 일반적으로 유전창 중 전극 주변부의 위에 위치한 부분의 두께를 전극 중심부의 윗부분보다 작게 하여 전극 주변부의 이온 농도를 높임으로써 식각속도의 균일도를 증가시킨다. 그러나, 이 방법은 티씨피와 같이 유전창을 사용하는 식각장치에서만 사용할 수 있다.

본 발명의 방법은 전술한 두가지 불균일 현상의 원인들, 즉, 반응기 내 기체 흐름의 불균일과 이온 플럭스의 불균일 중 후자의 해결에 초점을 맞춘 방법으로서 용량결합형 및 유도결합형 식각장치에 모두 적용이 가능하다.

### 발명이 이루고자하는 기술적 과제

본 발명은 기판을 전극 위에 고정시키고 파라데이 상자를 구성하는 격자면의 각도를 변화시켜 이온의 입사 방향에 따른 식각방향을 조절함으로써 다양한 모양의 식각단면을 얻을 수 있도록 하고, 격자면을 다양하게 변형하여 이온 플럭스를 기판의 위치에 따라 집중 또는 분산시킴으로써 기판이 전체적으로 균일하게 식각될 수 있도록 한 것이다.

### 발명의 구성 및 작용

도 2에는 본 발명의 방법을 구현할 수 있는 장치를 개략적으로 나타내었다. 본 발명은 기존 플라즈마 식각장치에서 전력이 전달되는 전극(13)에 한편 이상이 전도체의 다공성 격자면(16)으로 구성된 폐곡면의 파라데이 상자(14)를 전기적으로 접속시킴으로써 이온(18)의 입사방향을 조절하는 기술에 관한 것이다. 이로써 기판의 식각방향과 기판 표면의 위치에 따른 식각속도 분포를 독립적으로 조절할 수 있다. 본 발명은 보이드 등의 발명(미합중국특허 제 4309267호)과 같이 파라데이 상자 내에 위치하는 기판 지지대의 각도를 조절하는 것이 아니라 플라즈마와 접하는 격자면(16)의 각도를 조절함으로써 훨씬 다양한 식각특성들을 얻을 수 있으며, 또한 기존 식각장치에 대한 응용이 용이해진다는 점에서 보이드 등의 발명과 차별된다. 이 발명의 경우에는 기존의 플라즈마 식각장치의 전극에 설치된 정전기 척(Electrostatic Chuck)이나 웨이퍼 냉각장치들을 변형없이 그대로 사용할 수 있다. 여기서 정전기 척이란 전극 상에 웨이퍼를 고정시키기 위해서 정전기를 발생하는 장치이다. 식각공정 중에는 웨이퍼 표면의 온도가 올라가는데 과열방지를 위하여 웨이퍼를 냉각시키는 방법으로 전극 위에는 웨이퍼의 뒷면에 헬륨 기체를 흘려주

는 정치가 있다. 보이드 등의 발명을 사용하려면 이러한 정전기 척이나 웨이퍼 냉각 장치를 기판 지지대에 맞게 변형하여 설치해야 하나 본 발명에서는 웨이퍼를 기존의 방식대로 전극 위에 고정시키므로 이들을 그대로 사용할 수 있다. 그리고 본 발명에서는 파라데이 상자의 격자면(16)을 다양한 형태로 변형하여 식각에 응용하였는데, 이들 다양한 형태의 상자에는 전술한 파라데이 상자의 원리가 공통적으로 적용된다. 즉, 폐곡면의 일부를 구성하는 격자면이 플라스마와 접촉할 때 플라스마 중의 이온은 격자면에 수직인 방향으로 입사하여 이렇게 폐곡면의 내부 공간으로 들어간 이온은 초기 입사 방향을 유지하면서 관성 운동을 계속하여 기판의 식각에 기여하게 된다. 아래에서는 파라데이 상자를 이루는 격자면(16)의 형태를 바꾸는 경우에 얻어지는 다양한 식각단면들을 설명하였다.

#### 1. 파라데이 상자의 격자면이 기판 표면과 평행한 경우(도 3 참조)

수직식각은 고집적 반도체에서 가장 많이 요구되는 사항으로서 이를 구현하기 위해 플라스마 식각법이 널리 사용되고 있다. 그러나, 미세 패턴을 기판 표면에 대하여 수직방향으로 식각하여 90도에 가까운 수직식각벽을 얻는데에는 여러가지 장애요인들이 있다. 이러한 장애요인들 중 하나가 기판 위 미세구조의 모서리가 빗면으로 식각되는 소위 퍼세팅(Facetting) 현상이다. 퍼세팅 현상이 심화되면 후속공정에 악영향을 미치며 소자제조가 완료되더라도 회로불량의 원인이 된다.

퍼세팅의 원인은 다음과 같다. 기존 플라스마 식각법에서는 시쓰가 기판 표면의 바로 위에 형성되는데, 식각이 진행되면서 기판 위 미세구조의 식각 깊이가 증가하면 시쓰 내의 등전위면이 식각된 미세구조의 표면을 따라 휘어지게 된다. 전기장(電氣場; Electric field)의 힘을 나타내는 전기력선은 등전위면에 수직인 방향으로 형성되므로 미세구조 주변의 전기력선들은 미세구조의 볼록한 모서리 부분을 향해 집중된다. 이 전기력선을 따라 힘을 받는 이온의 플렉스 역시 미세구조의 모서리 부분에 집중하여 이 부분이 다른 곳에 비해 빨리 식각된다. 이와 같은 퍼세팅 현상으로 인하여 미세구조에서 수직으로 식각되어야 할 부분이 빗면으로 식각되는 것이다.

그러나, 도 3에 나타난 바와 같이 격자면(16)이 기판(17)의 표면과 평행하게 고정된 파라데이 상자(14)를 이용하면 시쓰가 파라데이 상자(14)의 격자면(16) 바로 위에 기판(17)과 평행하게 형성되므로 이에 수직으로 입사한 이온들(18)은 그 방향을 유지하며 기판(17)을 식각한다. 이는 전술한 바와 같이 파라데이 상자 내부의 공간은 모두 전위가 같게 유지되므로 전위차로 인해 발생하는 전기력이 존재하지 않고 따라서 상자 내의 공간에는 입사한 이온의 방향을 바꿀 다른 힘이 존재하지 않기 때문이다. 즉, 도 3과 같은 파라데이 상자를 이용하면 이온(18)의 플렉스는 기판 위의 미세구조에 상관없이 기판(17) 표면에 수직인 방향으로 입사하게 된다. 이로써 공정조건에 상관없이 퍼세팅 현상을 크게 줄이게 되어 기존의 플라스마 식각법보다 더 수직인 미세 식각단면을 얻을 수 있다.

#### 2. 파라데이 상자의 윗면 중 일정부위가 가려진 경우 (도 4 참조)

도 4에 나타난 바와 같은 파라데이 상자를 불화탄소 (예:  $CF_4$ ,  $CHF_3$ ,  $C_2F_6$  등) 플라스마 하에서 산화규소 ( $SiO_2$ ) 박막을 식각하는데 사용하면 격자면(16)의 바로 아래에 위치한 기판(17) 표면은 위의 1절에서 설명한 바와 같이 식각되거나 막힌 윗판(15)에 의해 가려진 부분의 기판 표면은 식각되지 않는다. 이는 불화탄소 플라스마 하에서 산화규소 박막을 식각할 때 이온이 입사하지 않는 표면은 거의 식각되지 않기 때문이다. 이 외에도 아르곤(Ar) 플라스마 하에서 규소(Si) 박막이나 산화규소( $SiO$ )

2) 박막의 식각, 염소( $Cl_2$ ) 플라스마에서 규소 박막의 식각과 같이, 이온이 입사하는 기판 표면에만 식각이 진행되는 계에서는 파라데이 상자의 막힌 윗판(15)이 식각 마스크의 역할을 한다. 즉, 본 발명의 파라데이 상자를 이용하면 기판 중 원하는 위치의 표면 부분만을 식각할 수 있다.

#### 3. 파라데이 상자의 윗면에 개방된 패턴이 있는 경우 (도 5 참조)

위의 1, 2절에서 설명한 원리를 응용하여 입사 이온이 통과할 수 있도록 개방된 미세 패턴(Pattern)이 새겨진 윗판(19)으로 파라데이 상자(14)를 덮고 상자 옆벽의 높이를 크게 줄였을 때 이 패턴이 새겨진 윗판(19)은 이온에 대한 패턴 마스크의 역할을 한다. 이때 이온은 패턴이 새겨진 윗판(19)의 개방된 부분으로만 입사하므로 기판 표면은 윗판(19)의 패턴과 동일한 모양 및 크기로 식각된다. 패턴이 새겨진 윗판(19)과 기판(17)의 간격이 크면 패턴을 통해 입사한 이온빔이 분산하는 효과가 생겨 기판에 식각되는 패턴이 희미해지나 그 간격이 작으면 이온빔이 분산되지 않은 채로 기판에 충돌하므로 파라데이 상자의 패턴이 새겨진 윗판(19)을 통해 선명한 패턴을 기판에 전달할 수 있다. 파라데이 상자의 윗판(19) 패턴이 충분히 미세해지면, 이러한 원리를 이용하여 현재 반도체 소자, 광전자 소자, 미세기계 소자 가공 공정에서 사용하는 감광고분자막(感光高分子膜; Photoresist) 코팅, 노광(露光), 식각 후 감광고분자막 제거 등의 일련의 요화 (Photolithography) 공정을 생략하고 단일공정만으로 회로패턴을 기판에 이식할 수가 있어서 감광고분자막 사용으로 인한 여러 가지 문제점들이 해소된다.

#### 4. 파라데이 상자의 격자면이 기판과 일정 각도를 이루도록 경사진 경우 (도 2, 도 6 참조)

도 2에 보인 파라데이 상자에서 기판 표면에 대하여 일정한 각도로 경사진 격자면(16)을 따라 시쓰가 형성되므로 이 격자면(16)에 수직으로 입사한 이온(18)은 전극(13) 위에 수평하게 놓여진 기판(17) 표면의 수직 방향으로부터

격자면의 경사각 만큼 기울어진 방향으로 기관 표면에 입사하여 기관 표면에는 경사진 식각단면이 얻어진다. 대직경 웨이퍼에 대하여 경사진 방향으로의 식각을 수행할 때에는 도 6과 같이 일정각도의 빔면이 주기적으로 반복된 격자를 사용하여 전극간 거리에 상관없이 경사진 식각단면을 얻을 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 보이드 등의 발명(미합중국특허 제 4309267호)에서는 대직경 웨이퍼에 대한 식각시 전극간 거리가 멀어지는 문제점이 있다. 도 2, 도 6에서 보인 바와 같은 경사면 파라데이 상자를 이용하면 기존의 반응성 이온 식각이나 고밀도 플라즈마 식각 장치에서도 기존의 이온빔 장치를 이용한 식각을 모두 구현할 수 있다. 즉, 기존의 플라즈마 식각장치에서는 시쓰가 기관 표면에 평행하게 형성되므로 기관의 배치 각도에 상관없이 기관에 수직인 방향으로 밖에는 식각할 수 없었으나 본 발명의 방법을 사용하면 이온빔 장치에서와 마찬가지로 기관에 대한 이온의 입사 방향을 자유자재로 조절할 수 있다.

본 발명의 방법이 이온빔 식각장치보다 유리한 점은, 플라즈마 식각 장치 내에 존재하는 많은 라디칼도 역시 기관에 입사하므로 라디칼 농도가 작은 이온빔 식각의 경우에 비하여 더 높은 식각속도를 얻을 수 있다는 것이다. 이것은 이온이 라디칼과 함께 식각속도에 대하여 상승작용(上昇作用; Synergic effect)을 일으키기 때문이다. 이 경우 이온이 비교적 낮은 에너지로 입사하더라도 높은 식각속도를 얻을 수 있고 따라서 기관에 대한 손상도 줄일 수 있다.

5. 파라데이 상자의 윗면이 서로 일정한 각도를 이루도록 맞붙은 2개의 경사진 격자면으로 구성된 경우 (도 7a, 도 7b 참조)

도 7a 및 도 7b에서 보인 바와 같이 두개의 격자면(16)이 일정각을 이루도록 파라데이 상자(14)를 변형하면 동시에 두가지 방향의 이온(18) 플럭스를 얻을 수 있다. 이러한 특성은 기존의 이온빔 식각 방법이나 보이드 등의 파라데이 상자 활용법(미합중국특허 제 4309267호)으로는 얻을 수가 없는 것이다. 이와 같이 이온을 동시에 두가지 방향으로 입사시키는 방법은 식각공정에 다양하게 응용할 수 있다. 예를 들어 반도체 고집적 회로 뿐 아니라 분광기, 광전자 소자, 음향소자의 핵심부품인 그레이팅(Grating)을 효과적으로 만들 수 있는데 이는 두 경사진 방향에서 입사하는 이온이 기관 위 미세구조의 퍼세팅 효과를 증대시켜 V자 홈(V-groove) 형상의 단면을 생성하기 때문이다. 격자면을 도 7b처럼 비대칭으로 만들면 이에 따라 식각단면도 역시 비대칭으로 형성되는데 이로써 고해상도의 X-선 산란용 그레이팅을 얻을 수 있다.

6. 파라데이 상자의 윗면이 단일 곡면의 격자인 경우 (도 8 참조)

도 8은 격자면(16)을 곡면(曲面)으로 변형한 것으로서 이 경우에는 격자면의 위치에 따라 이를 통과하는 이온(18)의 입사 각도가 연속적으로 변하게 된다. 도 8의 경우와 같이 곡면이 볼록한 경우에는 이온들이 중심 쪽으로 집중하여 입사하게 된다. 즉, 이온에 대한 볼록렌즈의 구실을 하게 되므로 이온들을 정해진 초점으로 모을 수 있다. 이에 따라 격자면의 중심부분 일에서는 식각속도가 증가하고 주변으로 갈수록 식각속도가 감소하게 된다. 이러한 식각속도의 변화폭은 격자 곡면의 곡률 및 초점거리를 조절하여 제어할 수 있다. 도 8에 나타난 격자의 곡면이 반대가 되면 볼록렌즈 역할의 파라데이 상자와 반대되는 식각결과가 나타난다. 도 8의 단일 격자 곡면 파라데이 상자를 사용할 때에는 기관의 위치에 따라서 식각속도만이 아니라 식각단면의 각도도 함께 변화하게 된다. 즉, 곡면의 중심부에 해당하는 위치의 기관 표면에 생성된 식각단면은 중심부로 집중되는 여러 방향의 입사 이온에 의해 둥근 모양이 되며 여기서 주변부로 갈수록 이온의 입사방향은 기관에 수직인 방향에서 멀어지므로 식각단면의 경사각도 역시 증가하게 된다. 그러므로 격자면의 요철(凹凸) 및 그 곡률을 연속적으로 변화시킴으로써 기관의 위치에 따라 다양한 식각특성을 얻을 수 있다.

7. 파라데이 상자가 2중 곡면의 격자로 구성되고 기관은 파라데이 상자의 밑에 놓인 경우 (도 9 참조)

대직경 웨이퍼에서 식각의 균일도를 증진시키고자 한다면 식각단면의 각도는 기관 표면에 수직으로 유지하면서 위치에 따라 식각속도만을 조절할 수 있어야 한다. 이 경우에는 도 9에 보인 바와 같이 2중 곡면의 격자면(22, 23)으로 구성된 파라데이 상자를 이용할 수 있다. 도 9에서는 위의 격자면(22)이 곡면이고 아래의 격자면(23)은 수평면으로 구성된 파라데이 상자를 보였는데 응용에 따라서는 아래의 격자면도 역시 곡면으로 할 수 있으므로 본 발명에서는 상하의 격자면을 함께 일컬어 2중 곡면의 격자면이라 하였다. 도 9의 파라데이 상자에서 식각 기관은 전술한 다른 경우의 예처럼 상자의 옆면에 의해 둘러싸인 것이 아니라 2중 곡면을 지지하는 다리(21) 사이에 놓이므로 기관의 수평방향으로는 플라즈마와 접촉하게 된다. 전술한 바와 같이 플라즈마와 접하는 표면에는 항상 시쓰가 형성되는데 도 9에는 파라데이 상자의 외부 표면에 형성된 시쓰 중 기관의 식각에 직접적인 영향을 미치는 3부분의 시쓰들(27, 28, 29)을 표시하였다. 첫째는 2중 곡면 중 윗곡면의 외부표면에 생기는 시쓰(27)이고, 둘째는 밑곡면의 외부표면에 생기는 시쓰(28)이며, 셋째는 식각 기관 위에 생기는 시쓰(29)이다. 이 경우에는 두 곡면(22, 23) 사이의 공간이 폐곡면을 형성하므로 여기에서 파라데이 상자의 효과가 나타나게 된다. 즉, 윗 격자면(22)에 생긴 시쓰(27)에서 윗 격자면(22)을 이루는 곡면에 수직인 방향으로 가속되어 윗 격자면(22)을 통과한 이온들은 두 곡면(22, 23) 사이에서 입사방향을 유지하여 비행하다가 밑의 격자면(23)에 생긴 시쓰(28)의 전기장을 극복하고 밑의 격자면(28)을 통과한다. 이러한 이온의 경로에서 윗격자면(22)에 생긴 시쓰(27)는 이온에 대하여 내리막길로, 아래 격자면(23)에 생긴 시쓰(28)는 오르막길로 작용하는 것이다. 이온들은 윗 곡면(22)의 렌즈 효과에 따라, 즉 격자면의 요철에 따라 집중되기도 하고 분산되기도 하며 곡률에 따라 그 정도가 조절된다. 이들은 전극 위에 놓인 기관

(24) 표면 위에 형성된 시스(29)를 용해 다시 가속되면서 검사진 이온 입사 방향이 수직으로 조정된다. 그러므로 도 9에 나타난 바와 같은 이중 격자의 파라데이 상자를 사용하면 단일 격자면 파라데이 상자와는 달리 식각단면은 수직으로 유지하면서 기판 표면의 위치에 따른 식각속도만을 조절할 수 있다. 예를 들어 기판으로 사용되는 산화규소 박막의 중심부가 상대적으로 얇고 주변부가 두꺼울 때 기존의 플라즈마 식각법을 사용하면 중심부의 식각속도가 높아 중심부와 주변부의 박막 두께 차이가 심화되나, 주변부에 이온 플럭스가 집중되도록 2중 격자 파라데이 상자를 설치하여 전극 위에 설치하면 전체적인 박막 두께의 균일도를 제어할 수 있다.

#### 8. 파라데이 상자의 격자면이 기판 표면과 평행하며 격자면의 격자 크기가 위치에 따라 변하는 경우 (도 10 참조)

대경경 웨이퍼에서 식각의 균일도를 증진시키는 또 하나의 방법으로서 도 10에 나타난 바와 같은 파라데이 상자를 이용할 수 있다. 이 파라데이 상자의 경우 그 격자면이 기판 표면과 평행하며 격자면 중 열린 부분의 크기가 위치에 따라 다르게 만들어졌다. 파라데이 상자의 격자면을 통과하는 이온의 플럭스는 격자면의 전체 면적 중 이온이 통과할 수 있는 열린 부분의 면적비에 비례한다. 즉, 격자면 중 열린 부분의 면적이 크면 이온이 많이 통과할 수 있어 식각속도가 증가하는 것이다. 이 때, 격자면은 기판 표면과 평행하므로 이온은 기판 표면에 수직한 방향으로 입사하고 따라서 수직 방향으로 식각된 단면을 얻을 수 있다.

실시예본 발명에서 소개되는 실시예는 도 2에 나타난 티씨피(TCP)형 플라즈마 식각장치에서 수행된 결과들로서 음전극(13) 위에 전기적으로 접촉한 파라데이 상자는 각 실시예의 응용에 맞게 위 발명의 구성 및 작용에서 소개된 여러 종류의 상자로 교체하면서 사용하였다. 도 2의 식각장치에서 소스 전력(Source Power; 8)은 티씨피 코일(9)을 통해 유전창(10) 밑의 기체에 유도 결합적으로 전달되며 바이어스 전력(Bias Power; 11)은 음전극(Cathode)(13)을 통해 용량 결합적으로 전달된다. 실시예에 사용된 식각 장치 중 반응기의 내경(內徑; Inner diameter)은 30 cm이고 기판이 올려지는 음전극의 직경은 12.5cm이며 유전창에서 전극까지의 거리는 3.5 cm이다. 식각에 사용된 기판은 피(p)형 규소 웨이퍼 위에 1 $\mu$ m (마이크로 미터; 10-6m) 두께로 자란 산화규소 박막이다. 패턴 식각을 위해서는 두께 0.2 $\mu$ m, 너비 1 $\mu$ m 내외의 알루미늄 선이 너비 1 $\mu$ m 내외의 간격을 두고 라인 앤드 스페이스(Line and Space) 패턴으로 산화규소 박막 위에 형성된 웨이퍼를 사용하였다.

본 발명의 실시예에서 사용한 파라데이 상자들은 도 2 - 도 10에 개략적으로 나타나 있으며 이들은 모두 0.1 - 0.4mm 두께의 동판(銅板)과 격자의 크기가 다른 여러 종류의 동망(銅網)을 사용하여 제작되었다. 동판과 동망을 전기적으로 도통(導通) 하도록 붙이기 위해 납땜을 사용하였다. 재료로서 동(銅)을 선택한 것은 파라데이 상자의 제작 및 이를 이용한 실험의 편의성에 의거한 것으로서 본 발명의 구현에 꼭 필요한 것은 아니다. 즉, 파라데이 상자의 재료는 전도체로서 음전극에 전기적으로 접촉했을 때 전극과 함께 등전위를 유지할 수 있는 물질이면 어떤 물질이라도 사용할 수 있다. 이러한 재료의 선택은 특히 반도체 소자의 식각공정에서 중요한데 이 경우에는 금속 대신 흑연(黑鉛; Graphite)을 사용하는 것이 좋다. 이는 반도체 공정에서 동을 재료로 한 파라데이 상자를 사용할 경우, 미량의 동이 이온에 의해 스퍼터링되어 기판 표면에 들어가면 이로 인해 반도체 회로가 단락(短絡; Short)될 수 있기 때문이다. 그러나, 흑연은 순수한 탄소의 결정체로서 회로의 단락과 상관이 없으며 미량이 기판 표면에 들어가도 불화탄소와 같은 플라즈마 환경에서 식각되어 제거되므로 반도체 공정에도 사용할 수 있다. 실제로 흑연을 재료로 만들어진 격자면은 이온빔 식각법의 이온층 부분에서 널리 채택되고 있다.

또, 파라데이 상자 중 플라즈마에 노출된 외부 표면에 산화규소( $\text{SiO}_2$ )나 질화규소( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )와 같은 재료의 박판을 붙여도 파라데이 상자의 식각에 대한 효과는 변하지 않는다. 이 경우에도 전도성 물질의 스퍼터링으로 인한 식각 기판의 오염을 막을 수 있다.

실시예 1 : 기판 표면과 수평한 격자면을 사용한 파라데이 상자 (도 3, 도 11a 내 지 도 11c 참조)발명의 구성 및 작용 1에서 설명한 바와 같이 격자면이 기판 표면과 평행한 파라데이 상자를 사용하였으며 이때의 공정조건으로서 사불화탄소( $\text{CF}_4$ )를 10  $\text{cm}^3/\text{분}$ 의 유량으로 흘려 주었고 압력은 10 밀리토르(1 밀리토르 = 1/760,000 기압)로 맞추어 주었다. 또 이 때 티씨피 코일로 전달되는 소스 전력은 200 와트로 고정시키고, 음전극에 전달되는 바이어스 전력은 음전극의 시스 바이어스 전압이 -300 볼트가 되도록 조절하였다. 바이어스 전력의 값은 바이어스 전압에 따라 결정된다. 식각은 10 분간 수행하였다.

위와 같이 식각한 결과 도 11b에 보인 바와 같이 식각벽이 기판 표면에 수직인 직사각형 단면이 얻어졌다. 이에 반하여 위와 같은 공정조건 하에 도 2의 식각장치에서 파라데이 상자 없이 기존의 식각법대로 전극 위에 기판을 놓고 식각을 수행한 결과는 도 11a의 전자현미경 사진에 나타난 바와 같이 식각단면이 발명의 구성 및 작용에서 설명한 바와 같은 이유로 퍼세팅(Facetting) 현상이 생겨 사다리꼴이 되었다. 사다리꼴의 빗면과 수평면이 이루는 각은 73.8도였다.

격자면이 기판 표면과 평행한 파라데이 상자를 사용할 때 기존의 식각법보다 더 수직한 방향으로 식각되는 효과는 플라즈마 발생을 위해 유입해주는 기체의 종류에 상관이 없다. 퍼세팅의 정도(Degree of facetting)를 나타내는 지표로서 미세구조의 가장 윗부분이 수평방향으로 식각된 너비를 식각 깊이로 나눈 값을 사용하였는데 이를 도 11c에서 백분율(%)로 나타내었다. 퍼세팅의 정도가 0 %에 가까울수록 식각된 미세 구조의 벽이 기판 표면에 대하여 수직에 가까운 것이며 퍼세팅의 정도가 클수록 수직 식각에서 벗어난 식각단면이다. 도 11c에 나타난 바와 같이 사

## 불화탄소(CF

4) 뿐 아니라 사물화탄소에 산소( $O_2$ )를 전체 유입기체 부피의 25 %가 되게 섞은 경우 ( $CF_4/O_2$ ),  $CHF_3$  및 아르곤(Ar)을 각각 사용한 경우에도 모두 기존의 식각법의 경우보다 격자면이 기판 표면과 평행한 파라데이 상자를 사용할 때 퍼세팅의 정도가 큰 쪽으로 감소하여 본 발명이 수직 식각에 큰 개선 효과가 있음을 보여 준다.

실시예 2 : 파라데이 상자의 윗면 중 일정부위가 가려진 경우의 식각 (도 4, 도 12a, 도 12b 참조)이 실시예에서는 도 4에 나타난 바와 같이 기판과 평행한 윗면 중 일부는 전도체의 평판(15)이고 나머지 부분이 격자면(16)으로 구성된 파라데이 상자를 사용하였으며 식각 공정조건은 음전극의 바이어스 전압이 -180 볼트이고 식각시간이 7분인 것을 제외하면 실시예 1의 공정조건과 같다. 도 12a 및 도 12b는 이로부터 얻어진 식각결과이다. 이 중 도 12a는 격자면(16)의 밑에서 얻어진 식각단면으로서 격자면을 통해 이온(18)이 입사하여 식각이 진행되었음을 보여 준다. 이에 반해 도 12b는 윗면 중 가려진 부분(15)의 밑에 위치한 기판의 표면 사진으로서 산화규소 박막은 전혀 식각되지 않고 원래 기판에 형성되어 있던 알루미늄 마스크만 보이고 있다. 이 결과는 파라데이 상자의 일정 부위를 임의로 막아 기판 표면 중 원하는 부분만 식각할 수 있음을 보여 준다.

실시예 3 : 파라데이 상자의 윗면에 개방된 패턴이 있는 경우의 식각 (도 5, 도 13 참조)이 실시예에서 사용한 파라데이 상자의 패턴이 새겨진 전도성 윗판(19)에는 도 5에 나타난 바와 같이 이온이 통과할 수 있는 패턴이 줄려 있다. 패턴이 새겨진 윗판(19)으로서 침필(Stylus)로 "SNU"라는 글자를 새겨 뚫은 동판을 사용하였다. 동판의 두께는 0.3 mm이고 크기는 가로 1.6 cm, 세로 1.2 cm이다. 여기에 새겨진 글자 1개의 크기는 가로 2 mm, 세로 3 mm이고 글자의 선폭은 0.1 mm이다. 도 5에 나타난 파라데이 상자(14) 옆벽의 높이는 2 mm로 윗판과 기판을 근접시켜서 식각하였다. 여기서 식각 공정조건은 실시예 1의 경우와 같다. 그 결과, 도 13에서 보듯이 산화규소 박막의 표면은 정확히 패턴이 새겨진 윗판(19)의 글자 모양을 따라 선명하게 식각되었다. 이때 기판 표면에 식각된 글자의 크기는 윗판의 글자 크기와 일치하였다. 이로부터 도 5에 나타난 바와 같이 전도성 윗판에 이온이 통과할 수 있는 패턴을 뚫음으로써 기판 표면에 감광노출자막을 사용한 사진노출 공정을 거치지 않고도 그 패턴을 직접 기판 표면에 전달할 수 있음을 알 수 있다.

실시예 4 : 파라데이 상자의 격자면이 기판과 일정각도를 이루도록 경사진 경우의 식각 (도 2, 도 6, 도 14a, 도 14b 참조)도 14a 및 도 14b는 각각 도 2에 보인 파라데이 상자 격자면의 기판 표면에 대한 경사 각도를 30도, 50도로 고정하고 식각한 기판의 단면 사진이다. 이때 사용된 공정조건은 바이어스 전압이 -250 볼트이고 식각시간이 12분인 것을 제외하고 실시예 1과 같다. 식각단면의 각도는 단면의 윗변과 밑변의 중심점을 연결한 직선이 밑변과 이루는 각도로 결정하였다. 도 14a 및 도 14b에 보인 단면의 경사각도는 각각 30.3도, 50.3도로서 파라데이 상자 격자면의 경사각도와 측정오차 범위 내에서 일치한다. 이는 파라데이 상자 격자면의 각도로서 식각단면의 경사면을 조절할 수 있음을 의미한다.

실시예 5 : 파라데이 상자의 윗면이 서로 일정한 각도를 이루도록 맞붙은 2개의 경 사진 격자면으로 구성된 경우의 식각(도 7a, 도 7b, 도 15a, 도 15b 참조)도 15a는 도 7a에 나타난 대칭형 격자면의 파라데이 상자를 이용하여 식각한 단면으로서 여기에 사용된 식각공정은 바이어스 전압이 -350 볼트이고 식각시간이 20분인 점을 제외하면 실시예 1의 경우와 같다. 원래 산화규소막 위에 형성되어 있던 알루미늄 마스크는 식각 중 양측에서 동시에 입사하는 이온 플럭스에 의한 퍼세팅의 진행으로 거의 제거되고 산화규소막의 표면에는 V자 홈 모양의 그레이팅이 형성되었다.

도 15b는 실시예 1의 경우와 같은 공정조건에서 도 7b에 나타난 비대칭 격자면의 파라데이 상자를 이용하여 식각한 단면이다. 이 때 양측의 격자면을 통과한 이온 플럭스의 입사 방향은 각 격자면의 경사 각도에 따라 결정되며 이에 따라 기판 표면의 마스크 양측에서 퍼세팅이 다른 정도로 진행되어 기판 표면에는 격자면의 단면 모양과 닮은 꼴의 비대칭 V자형 그레이팅이 형성되었다.

파라데이 상자는 실시예 1의 경우 퍼세팅을 억제하고 수직 식각을 하는데 사용되었으나 이 실시예와 마찬가지로 격자면의 모양을 변형하면 오히려 퍼세팅을 촉진하여 V자형의 빗면 식각을 하는데 사용될 수 있다.

실시예 6 : 파라데이 상자의 윗면이 단일 곡면의 격자인 경우의 식각 (도 8, 도 16a 내지 도 16c 참조)도 16a 내지 도 16c는 도 8에 나타난 단일 곡면 격자의 파라데이 상자를 이용하여 식각한 결과로서 도 16a는 그 중심부에서 얻어진 식각단면이고 도 16b 및 도 16c는 그 순서대로 주변으로 얻어진 위치에서 얻어진 식각단면이다. 이때 공정조건은 식각시간이 3분인 점을 제외하면 실시예 1의 경우와 같다. 도 16a 내지 도 16c의 식각 깊이를 비교하면, 기판 중심부의 식각속도가 가장 크고 주변으로 갈수록 감소한다. 격자 곡면의 중심부에서는 곡면의 각 위치에서 곡면에 수직으로 입사하는 각 이온의 플럭스가 집중되므로 식각속도가 가장 큰데 도 16a에서는 알루미늄 마스크 및 마스크 밑의 산화규소도 상당 부분 식각되어 제거되었다. 또, 식각단면의 모양을 비교하면, 모든 방향의 이온이 집중되는 기판의 중심부에서는 식각단면의 밑바닥이 원형을 이루면서 거의 수직인 방향으로 식각이 되고 기판의 주변으로 갈수록 식각단면의 식각벽이 기판 표면에 대하여 큰 각도로 경사지게 된다.

이와 같이 파라데이 상자에 단일 곡면의 격자면을 사용하면 이를 통해 입사하는 이온의 플럭스를 집중 또는 분산시

림 수 있고 기판 표면의 위치에 따라 식각속도와 식각단면의 경사 각도를 함께 변화시킬 수 있다.

실시예 7 : 파라데이 상자가 2중 곡면의 격자로 구성되고 기판은 파라데이 상자의 밑에 놓인 경우의 식각 (도 9, 도 17a 내지 도 17f 참조)도 17a 내지 도 17f는 실시예 1의 경우와 같은 공정조건에서 도 9에 보인 2중 곡면 격자의 파라데이 상자를 이용하여 얻은 식각결과이다. 도 17c가 곡면의 중심부분 아래에서 얻어진 식각결과이며, 나머지 사진들은 배치순서대로 양옆으로 중심에서 멀어진 위치에서 얻은 결과들이다. 이 식각단면들은 중심부분으로부터 멀어지면서 식각깊이가 감소하면서도 좌우로 치우침 없이 수직 방향으로 식각되었음을 보여주고 있다. 이는 이온의 플렉스가 기판의 위치에 따라 달라지면서도 이온의 입사방향이 수직인 방향으로 유지되었기 때문이다. 이로써 도 9와 같이 2중 곡면을 가진 파라데이 상자를 이용하면 식각단면을 기판 표면에 대하여 수직인 방향으로 유지하면서도 이온의 플렉스를 기판 표면의 원하는 부위에 집중시킬 수 있음을 알 수 있다.

실시예 8 : 파라데이 상자의 격자면이 기판표면과 평행하며 격자면의 격자 크기가 위치에 따라 변하는 경우의 식각 (도 10, 도 18a 내지 도 18c 참조)도 18a 내지 도 18c는 실시예 1의 경우와 같은 공정조건에서 도 10에 보인 바와 같이 전체적으로 기판 표면과 평행한 격자면의 열린 부분의 크기가 위치에 따라 변하는 파라데이 상자를 이용하여 얻은 식각결과이다. 여기서는 열린 부분의 크기가 다른 3 종류의 격자면(30, 31, 32)을 수평으로 연결하여 사용하였다. 도 18a는 이 격자면들 중 격자면 전체 면적에 대한 열린 부분의 면적비가 60 %로 가장 작은 격자면(30)의 밑에서 얻어진 식각 결과이고 도 18b 및 도 18c는 면적비가 각각 65 %, 70 %인 격자면(31, 32) 아래에서 얻어진 식각결과이다. 이들의 식각단면은 기판과 수직인 방향이며 격자면 중 열린 부분의 면적비에 따라 식각 깊이가 증가함을 볼 수 있다. 이와 같이 파라데이 상자의 수평한 격자면 중 열린 부분의 면적을 변화시켜 식각방향은 수직으로 유지하면서 식각속도를 위치에 따라 조절할 수 있다.

### 발명의 효과

식각단면 중 가장 일반적으로 요구되는 것은 식각면이 기판 표면에 대하여 수직인 식각단면이다. 기존의 플라즈마 식각법으로 식각할 경우 도 11a에 보인 바와 같이 퍼세팅으로 인한 빗면이 형성되기 쉬워 수직 식각면을 얻기가 어렵다. 반면에 본 발명의 도 3에 보인 격자면이 기판 표면과 평행한 파라데이 상자를 이용하면 도 11b에 보인 바와 같이 기존의 플라즈마 식각법보다 더 수직인 식각면을 얻을 수 있다. 이러한 개선 효과는 도 11c에 보인 바와 같이 식각에 사용된 기체에 상관없이 나타난다.

기존의 플라즈마 식각법으로는 일정한 각도로 경사진 식각단면을 얻을 수 없었다. 보이드 등은 도 1에 보인 바와 같이 격자면이 수평한 파라데이 상자 속에 기판 받침대를 놓고 받침대의 각도를 조절하여 플라즈마 식각장치에서 경사진 식각단면을 얻었다. 그러나 이 방법은 대직경의 웨이퍼를 경사진 방향으로 식각하는 데에는 적절하지 않다. 본 발명의 도 6에서와 같이 파라데이 상자의 격자면 모양을 적절히 변형하면 대직경의 웨이퍼에서도 경사진 식각단면을 얻을 수 있다. 본 발명에서는 도 14a 및 도 14b에 보인 바와 같이 파라데이 상자의 격자면 각도로써 식각각의 경사각도를 정확히 조절할 수 있다.

기존의 플라즈마 식각법에서 기판 표면을 일정한 패턴대로 식각하기 위해서는 먼저 기판 표면에 감광고분자막을 코팅하고 여기에 패턴이 있는 포토마스크를 통해 빛을 조사한 후 감광고분자막의 성질에 따라 노광된 부분이 용액 속에서 제거되거나 남는 사진요화 공정을 거쳐 기판 위에 식각 마스크를 형성해야 하였다. 이러한 기존의 방법은 비용이 많이 들 뿐 아니라 후속의 플라즈마 식각공정에서 식각마스크가 화학적, 전기적으로 영향을 미쳐 목표로 하는 식각단면의 구현을 저해한다. 본 발명의 도 4에 보인 파라데이 상자를 이용하면 도 12a 및 도 12b에서 보듯이 기판 표면 중 일정 부분에 선택적으로 이온을 조사할 수 있고, 이를 응용한 도 5의 파라데이 상자를 이용하면 도 13에 보인 바와 같이 감광고분자막을 사용하지 않고도 단일 공정으로 미세 패턴을 식각할 수 있어 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 그러나 보이드 등의 발명은 이러한 문제점을 해결하는데 적절하지 않다.

V형 홈이 연속된 구조의 그레이팅은 반도체, 광전자, 미세기계 소자 뿐 아니라 분광기에서도 널리 사용되는 핵심적인 부품이다. 보이드 등의 발명에서는 이온빔의 방향이 한 방향으로 고정되어 있으므로 좌우에 경사면을 가지는 그레이팅을 얻기가 어렵다. 그러나 본 발명의 도 7a 및 도 7b에 보인 파라데이 상자를 이용하면 동시에 2가지 이상의 방향에서 이온의 입사각도를 조절할 수 있으므로 도 15a에서 보인 좌우대칭의 그레이팅 뿐 아니라 도 15b에 보인 X선 고해상도 분광용의 비대칭 그레이팅도 만들 수 있다. 이들 그레이팅의 좌우 빗면각도는 파라데이 상자 격자면의 각도로써 조절할 수 있다.

본 발명의 도 8에 보인 단일 곡면의 격자면을 가진 파라데이 상자를 이용하면 도 16a 내지 도 16c에 보인 바와 같이 기판 표면의 위치에 따라 각각 다른 경사 각도와 식각 깊이를 가진 식각단면을 얻을 수 있다. 경사 각도와 식각 깊이는 격자면의 곡률로써 조절할 수 있다. 이를 이용하여 한 웨이퍼에서 다양한 식각단면을 얻을 수 있다. 본 발명의 이러한 특성도 역시 보이드의 발명으로는 얻을 수 없는 것이다.

반도체 가공공정에서 대직경의 웨이퍼를 식각할 때 대부분의 경우에는 공정 수율의 제고를 위하여 기판의 모든 위치에서 식각단면의 모양 및 식각깊이가 균일할 필요가 있다. 그러나 웨이퍼의 직경이 증가할수록 반응기 내의 위치에 따른 이온 및 라디칼 농도의 변화가 증가하여 식각속도의 불균일 현상이 심화된다. 본 발명의 도 9에 보인 2중 곡면의 격자면을 가진 파라데이 상자나 도 10에 보인 격자 크기가 위치에 따라 변하는 격자면을 가진 파라데이 상자를 이용하면 기판에 입사하는 이온의 플렉스를 조절하여 도 17a 내지 도 17f 및 도 18a 내지 도 18c에 보인 바와 같이 식각방향은 기판 표면에 수직인 방향으로 유지하면서도 위치에 따라 임의로 식각속도를 조절할 수 있어 대직경의 웨이퍼에서도 균일한 식각을 구현할 수 있다. 그러나 보이드 등의 발명으로는 이러한 특성을 얻을 수 없다.

### (57) 청구의 범위

#### 청구항1

파라데이 상자를 플라스마 식각장치 내에 놓고 그 상자 내부에 놓인 기판을 식각함에 있어서, 파라데이 상자의 윗면의 일부 또는 전부를 다양한 모양의 전도체 다공성 격자면으로 하여 식각부위, 식각방향, 또는 식각속도를 조절함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항2

제 1항에 있어서, 다공성 격자면이 도 3에서와 같이 기판 표면과 평행하게 함으로써 기판 표면을 수직으로 식각함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항3

제 1항에 있어서, 윗면의 일부를 도 4에서와 같이 가려지게 함으로써 기판 표면을 부분적으로 식각함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항4

제 1항에 있어서, 다공성 격자면이 도 5에서와 같이 개방된 패턴을 가지게 함으로써 기판 표면에 개방된 패턴과 동일한 패턴을 식각함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항5

제 1항에 있어서, 다공성 격자면이 도 6에서와 같이 기판과 일정각도를 이루게 함으로써 식각방향을 조절함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항6

제 1항에 있어서, 다공성 격자면이 도 7a 또는 도 7b에서와 같이 서로 맞물게 함으로써 기판을 2 방향에서 동시에 식각함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항7

제 1항에 있어서, 다공성 격자면을 도 8에서와 같이 단일 곡면으로 함으로써 기판 표면의 위치에 따른 식각방향과 식각속도를 조절함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항8

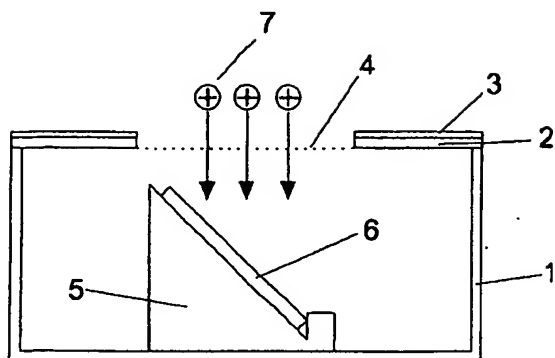
제 1항에 있어서, 다공성 격자면을 도 9에서와 같이 2중 곡면으로 함으로써 식각방향을 수직으로 유지하면서 기판 표면의 위치에 따른 식각속도를 조절함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

#### 청구항9

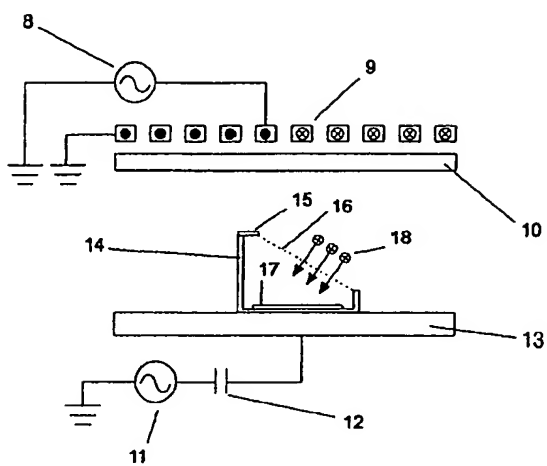
제 1항에 있어서, 기판 표면과 평행한 다공성 격자면의 열린 부분의 크기를 도 10에서와 같이 위치에 따라 변하게 함으로써 식각방향을 수직으로 유지하면서 기판 표면의 위치에 따른 식각속도를 조절함을 특징으로 하는 플라스마 식각방법.

### 도면

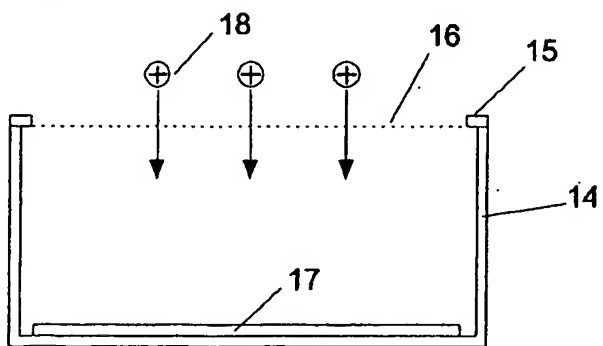
#### 도면1



도면2

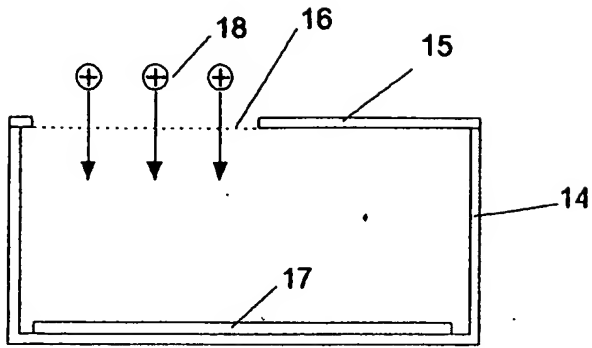


도면3

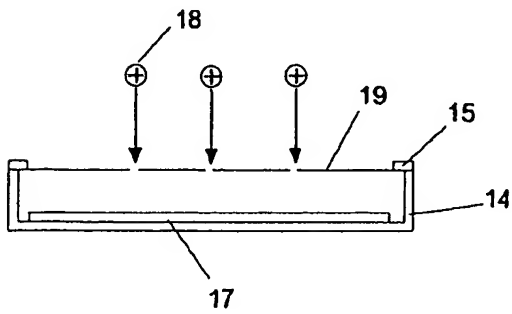


도면4

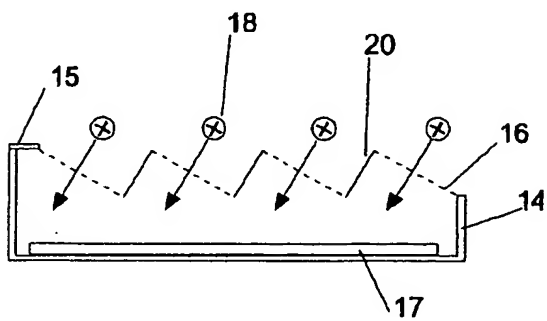




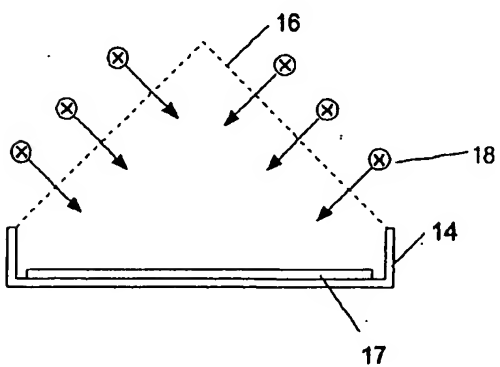
도면5



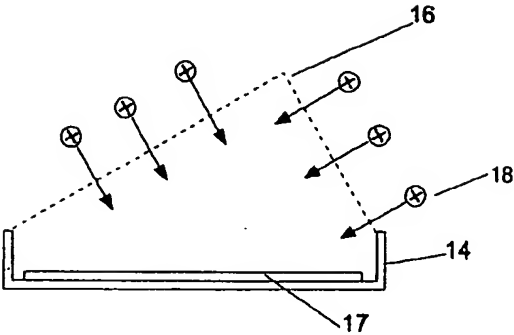
도면6



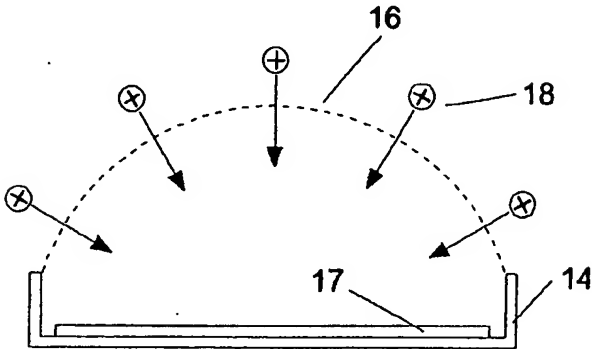
도면7a



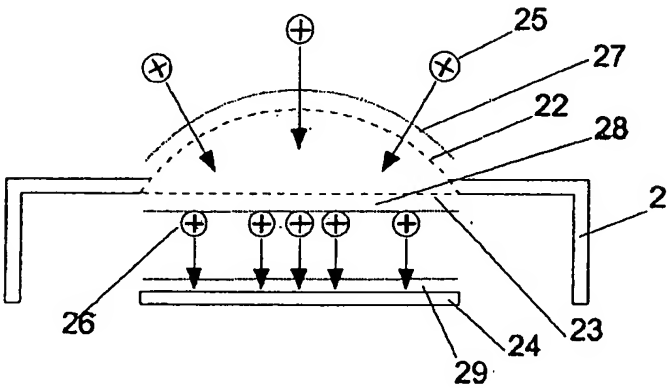
도면7b



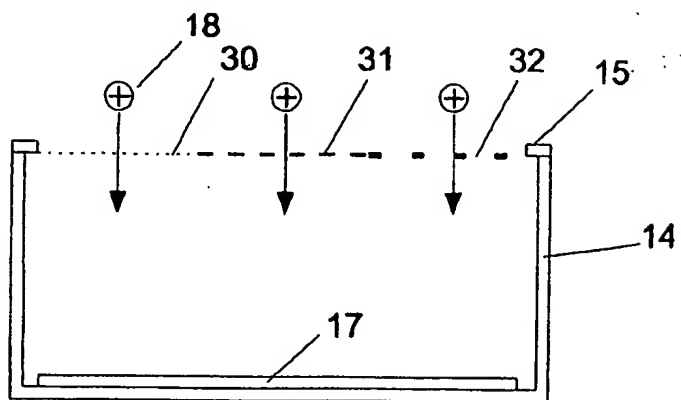
도면8



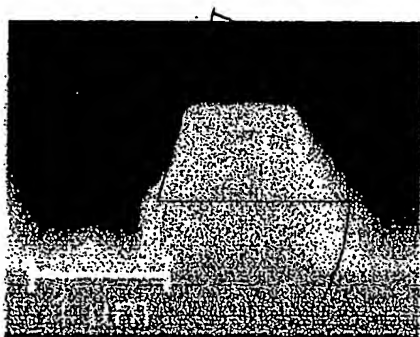
도면9



도면10

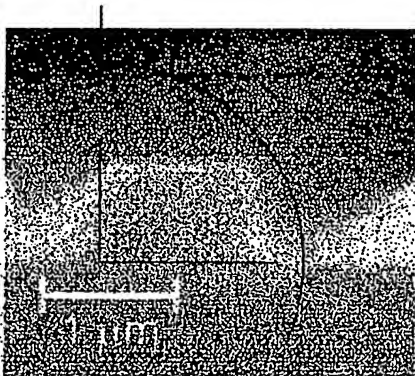


도면11a



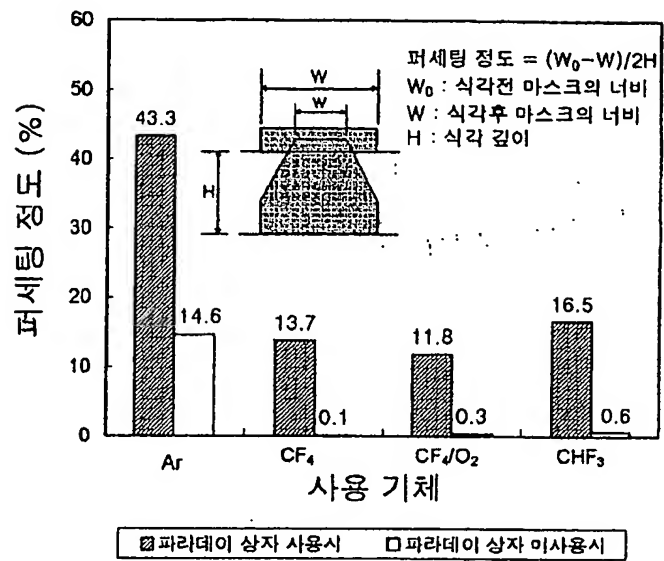
73.8 degrees

도면11b

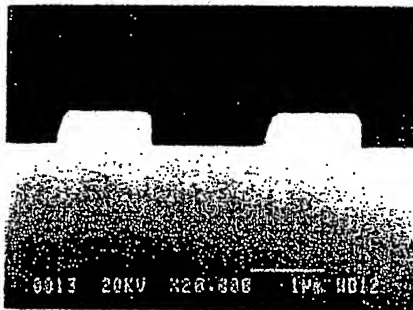


90.0 degrees

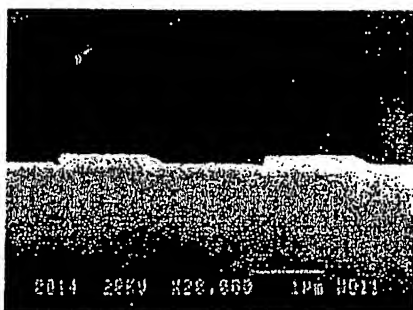
도면11c



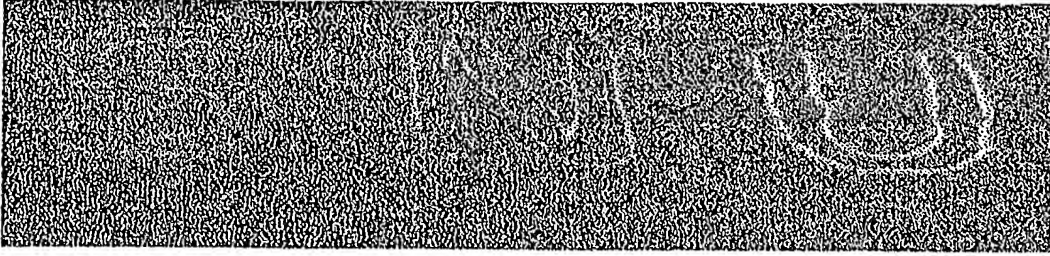
도면12a



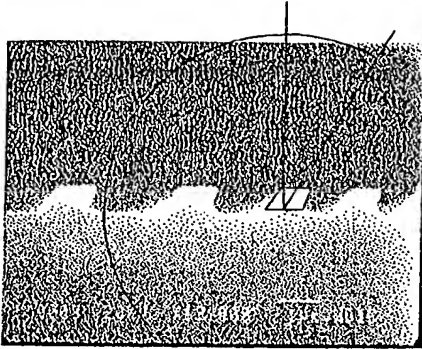
도면12b



도면13

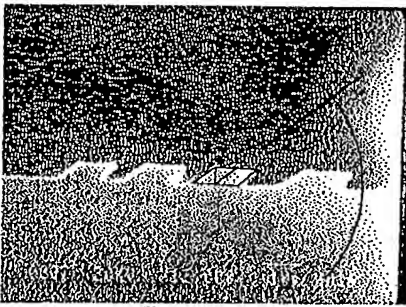


도면14a



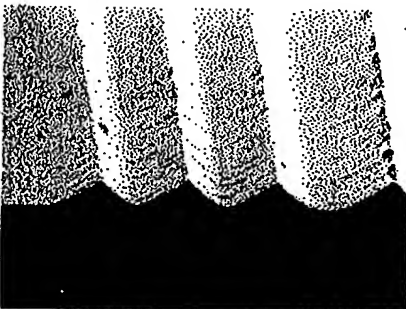
30.3 degrees

도면14b

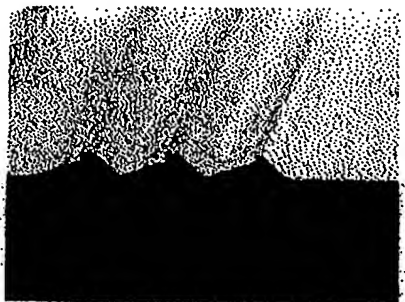


50.3 degrees

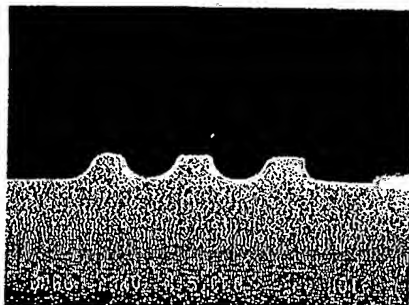
도면15a



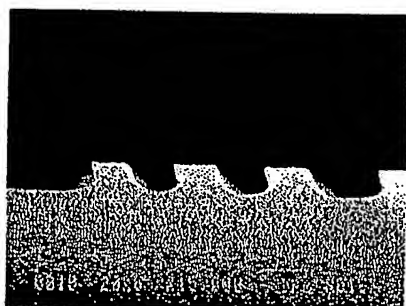
도면15b



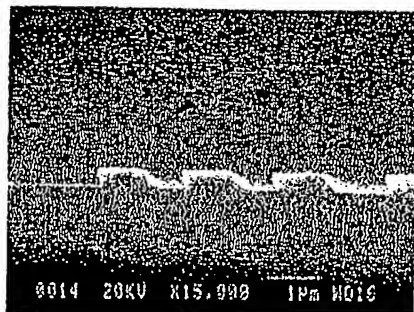
도면16a



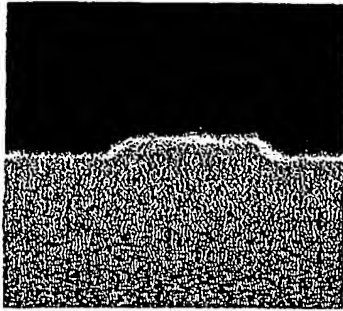
도면16b



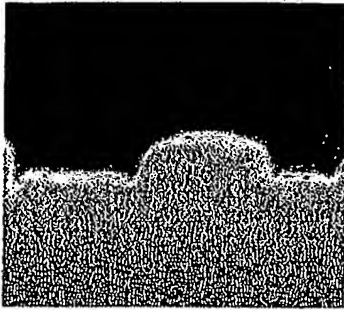
도면16c



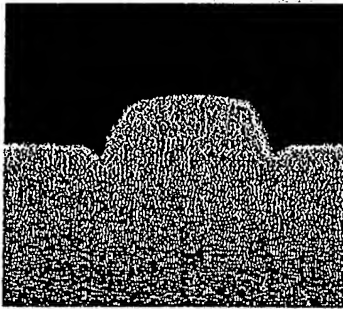
도면17a



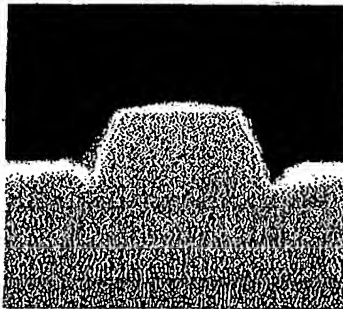
도면17b



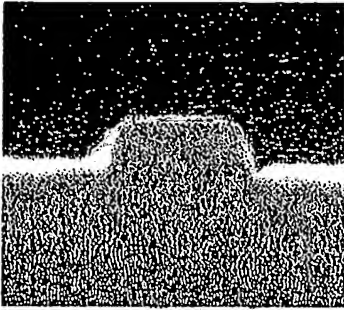
도면17c



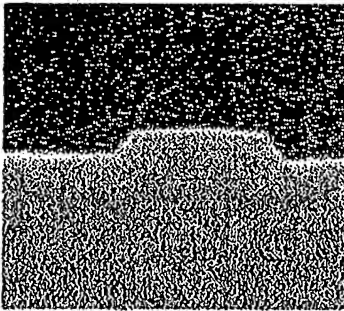
도면17d



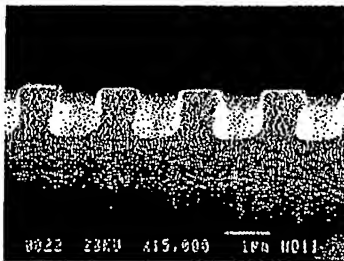
도면17e



도면17f



도면18a

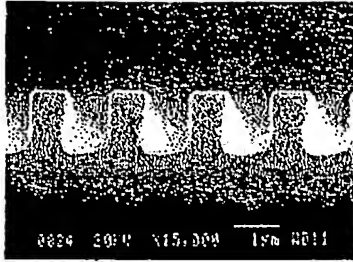


도면18b



도면18c





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**